COMPTES RENDUS

DES SÉANCES

DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES.

SÉANCE DU LUNDI 26 FÉVRIER 1872.

PRÉSIDENCE DE M. FAYE.

MÉMOIRES ET COMMUNICATIONS

DES MEMBRES ET DES CORRESPONDANTS DE L'ACADÉMIE.

CHIMIE AGRICOLE. — *Sur l'invention de la méthode de conservation des vins par le chauffage.* Note de M. **Balard.**

« Dans la séance du 29 janvier dernier, notre confrère, M. Thenard, a répété sur la conservation des vins ce qu'il avait déjà dit à l'Académie en 1869, et affirmé de nouveau « qu'à M. Pasteur appartenait la théorie de » cette opération, mais que c'était à Appert et à M. de Vergnette-Lamotte » qu'étaient dus les faits sur lesquels elle était fondée. »

» J'aurais voulu, dans la séance suivante, faire une réponse et établir que c'était bien à M. Pasteur seul qu'appartenait cette découverte; mais les travaux de l'Académie m'ont forcé à renvoyer ma Communication, de séance en séance, jusqu'à aujourd'hui. Je ne regrette pas, du reste, ce retard : il me permettra de répondre en même temps à notre confrère M. Thenard, ainsi qu'à M. de Vergnette lui-même.

» Dans la première édition de son traité, Appert, avant toute expérience directe, avait présenté le chauffage comme devant faciliter l'exportation des vins. Plus tard, il raconte, dans une de ses dernières éditions, comment il a essayé de vérifier la justesse de ses prévisions. Après avoir décrit

la manière dont il fit chauffer au bain-marie à 70 degrés des bouteilles de vin dont une partie restèrent au Havre et l'autre furent remises à des capitaines au long cours, tandis qu'il conservait dans sa cave quelques bouteilles telles qu'il les avait reçues de Beaune, il ajoute :

« J'attendis plus de deux ans le retour de mes bouteilles. De six que mon commettant avait expédiées au long cours, deux seulement revinrent de Saint-Domingue. Très-curieux, comme on se l'imagine bien, de connaître le résultat d'une expérience aussi importante, je m'empressai de soumettre une de ces bouteilles à la dégustation d'un habile connaisseur. Il la compara aux deux autres, savoir : une qui était restée dans la cave de mon correspondant du Havre, et qu'il venait de me renvoyer récemment, et une de celles que j'avais conservées intactes. Le résultat de cette triple comparaison fut extraordinaire : il démontra que ce vin, originairement le même, présentait trois qualités essentiellement différentes.

» La bouteille conservée chez moi, et qui n'avait pas subi de préparation, avait un goût de vert très-marqué; le vin revenu du Havre s'était fait et conservait son arome; mais la supériorité de celui revenu de Saint-Domingue était infinie : rien n'égalait sa finesse et son bouquet; la délicatesse de son goût lui prêtait deux feuilles de plus qu'à celui du Havre, et au moins trois de plus qu'au mien. Un an après, j'eus la satisfaction de réitérer cette expérience avec le même succès. »

» Il faudrait, pour conclure de ces expériences que c'est Appert qui a appris à conserver les vins par la chaleur, confondre deux choses bien distinctes : leur amélioration et leur conservation. Le vin n'est pas en effet, comme les autres substances alimentaires fraîches, nécessairement altérable : le plus souvent, il s'améliore en vieillissant; mais il éprouve parfois des altérations profondes qu'on appelle des *maladies*. Il devient louche, désagréablement sapide, souvent impotable. Conserver les vins, c'est prévenir ces altérations chez ceux qui auraient été naturellement susceptibles de les éprouver. Or rien dans l'expérience d'Appert ne prouve que la chaleur ait eu cette efficacité. Il eût fallu pour cette preuve que le vin sur lequel se faisait l'expérience fût altérable. Mais il ne l'était pas, puisqu'il s'est conservé aussi bien que celui qui avait été chauffé. On voit donc comment MM. Fremy, Thenard et de Vergnette-Lamotte, qui répètent que la découverte est due à Appert, sont loin de la vérité. Ce qu'il avait prouvé, c'est que la chaleur apportait dans les vins chauffés une amélioration que le voyage au long cours rendait plus sensible. Aussi, tandis que les procédés pour la fabrication des conserves se répandaient dans le monde entier, et que l'on continuait à recourir au transport dans l'Inde pour améliorer la qualité des vins, l'emploi de la chaleur pour leur conservation proprement dite est restée sans usage, malgré les améliorations dans le mode de chauffage introduites par M. Gervais, de Paris, dont M. le docteur Bart a rappelé de nouveau le travail.

» Si, en s'appuyant sur les travaux dont je viens de parler, on avait eu quelque tendance à employer le chauffage, on en aurait d'ailleurs été détourné par les expériences de M. de Vergnette-Lamotte, qui publia, en 1850, un Mémoire intitulé : *De l'exportation des vins de Bourgogne dans les pays chauds.* M. de Vergnette croyait à cette époque, comme la plupart des œnologues, que la bonne conservation d'un vin dépendait des proportions dans lesquelles s'y trouvaient ses éléments : l'eau, l'alcool, le tannin, l'acide tartrique, etc. Le vin dans lequel la nature avait mis entre ces matières diverses une pondération convenable était un vin susceptible de conservation, un vin normal.

» C'est d'une manière incidente que M. de Vergnette parla, en 1850, du chauffage des vins.

« ... Ne peut-on pas, dit-il, s'assurer *à priori* si les vins résistent aux fatigues qui résultent de leur envoi dans les pays chauds?

» J'ai observé, il y a quelques années, un fait assez important, qui contribuera singulièrement à éclairer la question. Souvent obligé, dans le moment de la récolte, de conserver, par la méthode d'Appert, des moûts destinés à des expériences qui ne pouvaient être faites que plus tard, j'ai aussi appliqué ce procédé à des vins de différentes qualités.

» En 1840, des vins de cette récolte avaient été mis en bouteilles au décuvage : après avoir été bouchés, ficelés et exposés au bain-marie à une température de 70 degrés C., ils furent descendus à la cave et oubliés. En 1846 (alors que la plupart des vins de 1840, dont les raisins furent grêlés, avaient subi une maladie à laquelle plusieurs succombèrent), quelques bouteilles se trouvèrent sous ma main avec leur étiquette, et je constatai, avec une remarquable satisfaction, qu'il était dans le meilleur état de conservation; seulement il avait contracté ce goût de *cuit* que nous rencontrons dans les vins qui ont voyagé dans les pays chauds. Il s'était dépouillé de sa matière colorante bleue. Plus vieux, plus sec qu'un vin de six ans ne devrait l'être, il avait tous les caractères que nous avons signalés dans le vin n° 1.

« Nous avons répété cette expérience sur d'autres vins à l'époque de leur mise en bouteilles, et toujours nous avons réussi, en faisant varier la température du bain-marie de 50 à 75 degrés C., à préserver de toute altération ultérieure les *vins de qualité soumis à nos essais*. Il n'en était pas de même pour ceux qui, d'une santé douteuse, ne présentaient pas cette composition normale sans laquelle les vins ne se conservent pas. Dans ce cas, ils ne résistent pas à cette épreuve. Nous verrons plus tard quel parti on peut tirer de ces observations. »

» Que le lecteur veuille bien relire avec une scrupuleuse attention ces deux dernières phrases, sur lesquelles je reviendrai tout à l'heure, et qui sont capitales dans le débat.

» Après avoir blâmé les coupages adoptés à Bordeaux, et insisté sur la nécessité de n'introduire dans les vins rien d'étranger, M. de Vergnette ajoute, comme conclusion qui étonnera peut-être l'Académie :

« Il nous paraît donc hors de doute que le seul moyen auquel nous devions avoir recours en Bourgogne pour la préparation des grands vins destinés à l'exportation consiste à les concentrer au moyen de la gelée. »

» Ayant décrit le procédé de congélation qui, conseillé par d'anciens œnologues, a été étudié par M. de Vergnette avec beaucoup de soin, il continue ainsi :

« Nous savons d'ailleurs que les voyages dans les pays chauds produisent sur les vins les mêmes effets que la chaleur d'un bain-marie ou d'un four dans les limites de 60 à 70 degrés centésimaux. Si donc, après avoir soumis à la congélation les vins qui doivent être exportés, nous en exposons, dès qu'ils sont devenus assez limpides pour être tirés en bouteilles, un échantillon à l'action de la chaleur, nous pourrons, dans le cas où ils résistent à cette épreuve, si l'on se rappelle ce que nous avons dit plus haut, en conclure qu'ils résisteront aussi aux fatigues des plus longs voyages.

» En résumé,... pour nous, il n'est qu'une manière rationnelle d'améliorer les vins qui doivent faire de longs voyages : c'est de *les concentrer par la congélation*.

» ... Les vins qui ont voyagé dans les pays chauds présentent tous les caractères des vins que l'on soumet artificiellement, dans les limites de 60 à 70 degrés centésimaux, à la chaleur d'un four ou à celle d'un bain-marie. *Si, après avoir soumis à cette épreuve quelques échantillons des vins que l'on veut exporter, on reconnaît qu'ils y ont résisté, on pourra en toute sécurité les expédier; dans le cas contraire, on devra s'en abstenir.* »

» Ces citations montrent, ce me semble, jusqu'à l'évidence que, pour M. de Vergnette, en 1850, la chaleur n'était pas un moyen de conservation des vins; il la regardait au contraire comme ayant une action altérante. Exaltant leurs dispositions maladives, elle atteignait les vins faibles et échouait dans son action sur les vins robustes. De là l'idée que cette chaleur pourrait être employée comme une épreuve permettant de distinguer, entre deux vins soumis également à la congélation, ceux pour lesquels ce préservatif n'aurait pas suffi de ceux que cette congélation avait rendus assez résistants pour qu'on pût les expédier dans les pays chauds.

» En disant, d'ailleurs, que les vins d'une santé douteuse *ne se conservent pas et qu'ils ne résistent pas à cette épreuve*, il n'engageait, certes, pas à employer un remède qui pouvait devenir pire que le mal.

» Quand, au commencement de l'année 1864, M. Pasteur annonça que les altérations des vins étaient corrélatives de la présence et de la multiplication de végétaux microscopiques, M. de Vergnette-Lamotte, comprenant l'importance de la voie nouvelle dans laquelle notre confrère venait d'entrer, s'empressa, en le félicitant, de lui faire part des pratiques routinières suivies en Bourgogne pour cette conservation. Il ajoutait, en terminant, une très-longue lettre :

« Vous voyez, Monsieur, que tous les moyens que j'indique pour le traitement des vins menacés ou malades sont des moyens empiriques, qui ne sont en rien basés sur les causes connues du mal. Il ne pouvait en être autrement. Ces causes, Monsieur, vous les avez trouvées, et, permettez-moi de vous le dire, vous devez à la France viticole un travail sur le ferment de l'amer aussi complet que celui que vous avez publié sur la fermentation alcoolique....

» Ce qu'il nous faut aujourd'hui, c'est d'être guidés par le raisonnement seul dans toutes les opérations que demande le traitement des vins dans les caves : alors plus de vins malades, et vous aurez donné des millions à la France. »

» Chacun peut apprécier si, sous la plume d'un grand propriétaire de vignobles, récoltant des vins de prix, c'était là un *compliment banal*, comme le dit aujourd'hui M. de Vergnette, ou l'expression sincère des sentiments qu'il éprouvait en songeant que, la cause du mal étant connue, on pouvait espérer d'en découvrir le remède.

» Le 4 avril 1865, M. Pasteur, en faisant connaître à M. de Vergnette les observations qu'il avait faites sur quelques vins, au sujet desquels celui-ci l'avait consulté, après lui avoir annoncé que tous les vins vieux qu'il a envoyés sont malades et lui avoir donné de graves doutes sur ses vins nouveaux, ajoute :

« Voici une nouvelle importante et qui vous fera plaisir :

» J'ai la ferme conviction que je suis en possession d'un moyen très-pratique et sûr, capable de prévenir toutes les maladies de vos grands vins. Vous pourrez les conserver aussi longtemps que vous le désirerez. Je voudrais avoir sur ce point l'appui de votre observation la plus scrupuleuse et la plus directe. Voici dès lors le service que je réclame de votre obligeance et de votre dévouement à la solution qui me préoccupe.

» Vous auriez la bonté de m'envoyer diverses sortes de vins, choisis parmi les plus altérables de la Bourgogne..... Je traiterai moitié ou trois quarts du nombre de ces bouteilles par mon procédé, et je vous les renverrai soigneusement étiquetées et parafées avec cette indication : *Ce vin ne s'altérera plus.*

» Vous les déposeriez tout auprès d'un nombre égal de ces bouteilles mises en réserve, et dans six mois, dans un an, dans deux ans,... vous dégusteriez comparativement ces vins. De mon côté, je garderai quelques-unes de ces bouteilles dans les mêmes conditions et dans le même but. »

» M. de Vergnette répond le 8 avril :

« Je suis tout disposé à donner mon concours à vos expériences en vous adressant du vin de mes récoltes. Voici seulement un point sur lequel je désirerais être fixé :

» Pouvez-vous opérer sur des vins de la qualité des n°s 12, 18, 21, 19.

» Nos vins vieux ont *votre ferment, à ce qu'il paraît,* mais j'espère que vous vous trompez sur nos vins nouveaux. »

» Le 11 avril, M. Pasteur lui répond :

« Je m'empresse de vous remercier et de vous informer que je puis opérer sur des vins de la qualité des nos 12, 18, 21, 19. Mon procédé n'a pas pour effet de guérir des vins malades, mais il arrête le mal lorsqu'il existe et le prévient absolument lorsqu'il n'existe pas. Ce n'est pas un remède aux vins altérés, mais un préservatif, et, appliqué aux vins déjà altérés plus ou moins, il empêche la continuation de la maladie. Si vous m'envoyez les vins nos 12, 18, 21, 19, je vous les renverrai dans un état tel, qu'ils resteront ce qu'ils sont, plutôt meilleurs que moins bons, et qu'ils ne deviendront jamais amers. »

» Et le même jour, dans un document publié depuis dans nos *Comptes rendus,* il résume en ces termes le résultat de ses études alors presque complètes :

« J'ai reconnu que les maladies ou altérations spontanées des vins sont produites par des êtres microscopiques, dont les germes existent dans le vin avant qu'il devienne malade.

» Le vin ne s'altère pas si ces germes sont tués. Un moyen simple et pratique de faire périr ces germes consiste à porter le vin à une température comprise entre 60 et 100 degrés.

» Je déclare prendre un brevet d'invention pour l'application de ce procédé. Il empêche toutes les fermentations irrégulières des vins, quelle que soit leur nature, sans altérer la qualité du vin (1). »

» Dans une Communication faite plus tard à l'Académie, M. Pasteur a montré que le minimum de la température nécessaire pour la conservation des vins pouvait être abaissé jusqu'à 50 degrés.

» En voyant M. de Vergnette engager M. Pasteur à s'occuper de cette question, continuer à correspondre avec lui, solliciter son jugement sur les altérations des vins qu'il lui envoyait, le visiter dans son laboratoire, apprendre de lui, le 15 février, à reconnaître au microscope les êtres vivants causes de la maladie, qui aurait pensé qu'il poursuivait lui-même, sans en laisser rien transpirer, la solution du même problème ?

» On est bien obligé de l'admettre, pourtant; car ce n'était pas sans doute un plan d'expériences, mais des faits réellement observés qu'il présentait à l'Académie, quand, devenu notre correspondant, trois semaines après la prise de date de M. Pasteur qui était encore ignorée, il publiait un Mémoire sur l'amélioration et la conservation des vins par la chaleur.

» Renonçant à la congélation, adoptant probablement l'idée que la cause du mal tenait à des êtres vivants, que M. Pasteur lui avait appris à

---

(1) Ce brevet fut pris par M. Pasteur, quand ses idées sur la conservation des vins furent bien arrêtées, afin de se mettre en garde contre les frelons de l'industrie. Il l'a laissé volontairement tomber dans le domaine public, et ceux qui parlent avec un certain dédain de cette manière de s'assurer la propriété d'une découverte industrielle, peuvent en faire dès lors usage gratuitement.

distinguer, il essayait aussi de les tuer par la chaleur, dont il avait fait, en 1840, l'emploi que j'ai apprécié.

» Le procédé de M. de Vergnette ne s'applique qu'aux vins en bouteilles et consiste « à les empiler au grenier pendant les mois de juillet et d'août, » ou à les exposer, pendant deux mois, dans une étuve dont la tempé- » rature ne dépasse pas 50 degrés. Après ce traitement, les vins sont des- » cendus à la cave et conservés, comme de coutume, jusqu'à ce qu'on les » livre à la consommation. »

» Si M. de Vergnette était présent à notre séance, je lui demanderais cependant s'il a mis fréquemment en pratique son procédé; mais, à son défaut, notre confrère M. Thenard, peut nous dire s'il a dans ses caves beaucoup de vin exposé pendant deux mois à l'étuve, et si le climat de la Bourgogne et l'été de 1864 permettent de supposer que, dans un grenier couvert de tuiles et non de vitrages, la température puisse s'élever jusqu'à 45 ou 50 degrés. Je voudrais aussi savoir de lui ce qu'il pense des assertions contradictoires de M. de Vergnette et de M. Pasteur sur le fait de l'amélioration de la qualité du vin par cette méthode. M. de Vergnette assure que son procédé conserve et améliore le vin; M. Pasteur prétend qu'il aurait pour résultat nécessaire d'altérer les vins fins de la Bourgogne. Mais c'est à l'expérience et aux dégustateurs à prononcer sur l'influence comparative d'une température de 60 degrés agissant pendant un instant, et celle d'une température minimum de 50 degrés prolongée pendant deux mois, la seule chose, à mon avis, que M. de Vergnette puisse réclamer dans la question de la conservation du vin par le chauffage.

» Quant à l'utilisation pratique des deux procédés, je ne pense pas qu'on puisse hésiter entre celui qui exige du vin en bouteilles, une étuve, deux mois de chaleur, et un autre qui n'a besoin que d'une minute de chauffage, peut s'appliquer à bas prix aux vins conservés dans d'immenses tonneaux, et qui a déjà rendu à l'agriculture et au commerce des vins des services réels.

» On pouvait croire qu'à la fin de ces débats de 1865 la question que je cherche à élucider était claire pour tout le monde, et c'est ainsi qu'en pensait, à l'Exposition de 1867, le jury pour la classe d'agriculture, qui décernait à M. Pasteur un grand prix pour la conservation des vins. Mais, en 1869, à la suite d'une allocution de notre confrère le Maréchal Vaillant, au Conseil général de la Côte-d'Or, sur l'utilité du procédé Pasteur, notre confrère M. Thenard, soutenant de nouveau que c'était à M. de Vergnette-Lamotte que revenait la priorité, donna lieu à de nouveaux débats.

» M. Pasteur, en partant pour Trieste, les croyait terminés; il n'en était pas ainsi cependant. Ils se prolongèrent pendant son absence, et ce n'est que tout récemment qu'il a eu connaissance de la Note communiquée à l'Académie, le 22 novembre 1869, par M. de Vergnette-Lamotte.

» Dans cette Note, comme dans celle que renferme le *Compte rendu* précédent, comme dans toutes les autres, M. de Vergnette ne se sert que d'un seul argument : la reproduction du passage relatif au chauffage des vins en 1850, qu'il cite avec plus ou moins d'extension, mais jamais en entier. Dans celle de 1869, par exemple, rappelant ce qu'il avait publié en 1850, « quinze ans avant les premiers travaux de M. Pasteur sur le chauffage », il se contente de reproduire cette seule phrase :

« Nous avons répété cette expérience sur d'autres vins à l'époque de leur mise en bouteilles, et toujours nous avons réussi, en faisant varier la température du bain-marie de 50 à 75 degrés centigrades, à préserver les vins de qualité soumis à ces essais de toute altération ultérieure.

» Cette citation si précise répond — l'Académie voudra bien me l'accorder, je l'espère, — à toutes les attaques qui ont été dirigées contre moi. »

» Je ne crois pas que l'Académie puisse lui faire cette concession. Sa citation, précise dans ce qu'elle contient, n'est pas suffisante. Il aurait fallu, pour cela, y joindre la phrase suivante :

« Il n'en était pas de même pour ceux qui, d'une santé douteuse, ne présentaient point cette composition normale sans laquelle les vins ne se conservent pas. Dans ce cas, ils ne résistent pas à cette épreuve, etc. »

« Eh bien, la découverte de M. Pasteur, c'est que, contrairement à cette assertion de M. de Vergnette, tous les vins peuvent subir l'action de la chaleur sans s'altérer, et qu'une minute de chauffage assure la conservation d'un vin quelconque; que le vin le plus faible, le plus disposé à tourner à l'aigre, à la graisse, à l'état visqueux, à l'amer, est garanti des altérations qu'il aurait pu éprouver. Grâce à elle, l'ouvrier et le paysan, si peu soigneux pour leur vin, pourront le laisser presque impunément en vidange, en lui conservant les qualités d'un liquide sain et agréable.

» M. Pasteur n'a donc pas seulement le mérite si restreint que lui accorde M. Thenard; il est réellement l'inventeur, le propagateur convaincu de la méthode de conservation des vins par la chaleur; et si notre pays, grâce à ces pratiques, voit la richesse publique s'augmenter par l'exportation de nos vins ordinaires, les plus altérables, d'un bas prix et susceptibles d'être consommés par la partie la plus nombreuse des peuples qui ne cultivent pas la vigne, c'est à lui qu'en toute justice on doit en rapporter l'honneur. »

» Je prie, en terminant, l'Académie d'excuser l'étendue de cette Communication (1) : j'espère qu'elle voudra bien se rappeler que je ne suis pas entré spontanément dans cette discussion de priorité introduite dès les premiers jours dans le débat important qui s'agite devant nous. Cette discussion pouvait paraître, au premier aspect, une chose incidente, et n'ayant pour la science qu'un intérêt restreint. Elle se rattache cependant, de la manière la plus intime, au fond même du débat, puisque ces altérations des vins font partie des fermentations proprement dites de M. Pasteur, qui sont en cause en ce moment. Amené sur ce terrain malgré moi, j'ai cru devoir traiter la question d'une manière complète, en m'efforçant de la rendre assez claire pour que ce débat ne pût plus reparaître dans nos *Comptes rendus*, où il a, à diverses époques, occupé déjà trop de place.

» Dans la Communication que je viens de faire, j'ai eu surtout pour but d'exposer les faits. C'est, bien entendu, sur eux que j'ai fondé mes convictions; mais je n'ai pas l'espérance de la voir partagée par ceux qui, depuis longtemps déjà, ont eu et soutenu une opinion contraire. S'ils jugent convenable de continuer ce débat spécial, je ne les y suivrai pas; il est clos en ce qui me concerne, et je ne demanderai de nouveau la parole sur ce sujet que dans le cas où l'on contesterait les documents que je reproduis et les faits sur lesquels je m'appuie. »

CHIMIE AGRICOLE. — *Réponse à la Note précédente de M.* Balard *sur la priorité d'invention du chauffage des vins; par* **M. Thenard.**

« Je ne répondrai pas à M. Balard sur la question de priorité; je ne ferais que répéter ce qu'en conscience j'ai déjà dit précédemment. M. de Vergnette est d'ailleurs entré en lice, et je n'ai pas l'habitude de me substituer aux auteurs quand il m'est permis de faire autrement. Mais, revenant sur le terrain scientifique, je dirai qu'il ne faut pas confondre le but et les effets du chauffage avec ceux de la congélation.

» La congélation a pour but de concentrer le bouquet d'un vin qui en est doué, mais qui, par des circonstances quelconques, est trop aqueux et simultanément peu acide. La congélation est donc plutôt un moyen d'amélioration que de conservation. Un vin commun ne peut être congelé avec avantage. Un vin complet et de haute qualité ne peut l'être non plus.

» Le chauffage est, au contraire, un moyen de conservation et non d'amé-

(1) Ce développement, qui avait été d'abord rédigé sous forme de note, n'a pas été lu à l'Académie.

lioration. Le chauffage, de quelque manière qu'on le pratique, n'améliore pas un vin, il le détériore toujours dans une certaine mesure; mais il prévient une perte complète au cas où, par lui-même, ce même vin ne serait pas assez solide pour se conserver spontanément. Le chauffage est donc en quelque sorte une amputation qu'on fait subir au vin, pour le sauver de la gangrène. Aussi faut-il rester bien persuadé que sur une bonne table on ne servira jamais de vin chauffé, et qu'à l'occasion on servira très-bien, et même avec avantage, des vins congelés. »

HYDRODYNAMIQUE. — *Sur l'hydrodynamique des cours d'eau.* Mémoire de M. DE SAINT-VENANT.

« 1. Si, dans les cours d'eau, le mouvement du fluide n'était jamais qu'*uniforme* et *rectiligne*, et si les sections transversales n'avaient que des formes et des dimensions s'écartant peu de ce quelles étaient dans les expériences de jaugeage qui ont été faites, les formules qui en représentent empiriquement les résultats pourraient suffire pour les calculs habituels et pratiques des débits, comparés aux dimensions des lits et à leurs pentes.

» Mais, hors de là, et même dans le cas ordinaire où le mouvement varié est *permanent*, l'empirisme fait défaut. Les frottements intérieurs du fluide jouent un rôle complexe, qui change, suivant les circonstances, le rapport entre la vitesse moyenne du débit à travers chaque section et les vitesses aux parois où agit le frottement retardateur, et l'on sent le besoin d'une théorie qui établisse des relations entre les vitesses *individuelles* aux divers points des sections et les pressions, dont les composantes tangentielles à leurs faces sont les *frottements* intérieurs du fluide.

» 2. Navier a donné, en 1822 (*), des relations ou équations de ce genre. Comme elles ne satisfont pas, ainsi qu'il le reconnaît lui-même, aux cas ordinaires de la pratique (**), plusieurs ingénieurs ont cherché à en établir d'autres. Pour mettre fin aux tentatives stériles, et tracer, s'il est possible, la vraie voie à suivre, il convient de déterminer d'abord dans quels cas et entre quelles limites les équations de Navier sont justes et applicables.

» Il ne les établit qu'en supposant, dans le fluide, des mouvements moléculaires *réguliers*, c'est-à-dire ne variant que d'une manière bien *continue*,

(*) Tome VI des *Mémoires de l'Institut*.

(**) Résumé (posthume), publié en 1838, de ses *Leçons à l'École des Ponts et Chaussées*, 2e partie, n° 109, p. 89.

Navier disait déjà, en 1823, dans leur lithographie, que le mouvement, dans ces cas ordinaires, est *plus compliqué* que celui que sa théorie de 1822 suppose.

ou ni brusque ni rapide d'un point à un autre, ou d'un instant au suivant, de sorte que les variations puissent être exprimées par des développements de Taylor réduits à leurs premiers termes.

» Dans cette supposition, on peut voir, tout d'abord, que la théorie de Navier est pleinement rationnelle.

» Après avoir, en effet, l'année précédente (1821), fondé la mécanique des solides élastiques sur le fait bien avéré (*ut tensio sic vis* de Hooke) du développement d'attractions et répulsions intérieures proportionnelles aux petits changements de distance mutuelle qu'on fait subir à leurs parties, Navier, en 1822, a admis analogiquement, pour les fluides, que dans l'état de mouvement l'action statique de deux quelconques de leurs molécules très-proches se trouve « augmentée ou diminuée d'une quantité propor- » tionnelle à la vitesse avec laquelle elles s'approchent ou s'éloignent l'une » de l'autre. » Cauchy et Poisson, en 1828 et 1829, sous deux formes différentes, ont justifié cette hypothèse si naturelle, c'est-à-dire qu'ils l'ont rattachée manifestement au fait constaté relatif aux corps solides; car Cauchy remarque (*) que dans les corps mous ou fluides, d'où les réactions élastiques ont disparu en tant que pouvant ramener complétement leurs états antérieurs, les tensions à chaque instant ne dépendent plus des changements totaux de forme éprouvé, mais seulement des changements *qui viennent d'avoir lieu dans un instant très-court*, ce qui revient bien à dire qu'elles dépendent des vitesses relatives actuelles; et Poisson (**), entrant dans le détail de ce qui a dû se passer à plusieurs instants successifs, précédant celui où l'on est, suppose qu'à chacun d'eux les petits déplacements moléculaires relatifs, proportionnels à ces vitesses, engendrent des composantes de pression comme celles qui se développent dans un solide élastique, mais que la mobilité constituant l'état fluide les fait diminuer rapidement d'intensité pour faire place à des composantes nouvelles, en sorte qu'en faisant un calcul cumulatif des pressions actuellement engendrées et de ce qui reste des pressions antérieurement produites, diminuées suivant une loi arbitraire, il obtient, pour l'intérieur des masses fluides en mouvement, des formules de pression reproduisant les équations de Navier.

» Comme le mystère de la fluidité n'est pas encore dévoilé, on ne sait sans doute pas pourquoi les molécules fluides glissent facilement les unes devant les autres, de manière à diminuer promptement et à effacer bientôt les actions dynamiques développées à chaque instant par les rapprochements

(*) *Exercices de mathématiques*, 3e année, p. 185.
(**) *Journal de l'École Polytechnique*, 20e cahier, p. 152.

et éloignements moléculaires. Poisson n'en était pas moins autorisé à faire son calcul, qui confirme et traduit en quelque sorte l'intuition de ses deux prédécesseurs; en sorte que les formules des pressions dans l'intérieur des fluides, se mouvant régulièrement et continûment, peuvent être regardées comme aussi ration nellement établies que celles des tensions ou forces élastiques à l'intérieur des corps solides.

» Ces formules sont, comme nous l'avons déjà rappelé dans plusieurs occasions, en nommant u, v, w les composantes de la vitesse d'une molécule fluide dans les directions respectives de ses coordonnées rectangles x, y, z, et p_{xx}, p_{yy}, p_{zz}, p_{yz}, p_{zx}, p_{xy}, suivant une notation de Coriolis adoptée finalement par Cauchy (*), les trois composantes normales et les trois composantes tangentielles (les $-N_1$, $-N_2$, $-N_3$, $-T_1$, $-T_2$, $-T_3$, de Lamé) des pressions exercées à travers l'unité superficielle de trois petites faces dont les normales ont les directions des premiers indices, les seconds indices désignant les sens de décomposition, enfin ε désignant un coefficient pour chaque liquide à chaque température :

$$(1)\quad \begin{cases} p_{xx} = p - 2\varepsilon\dfrac{du}{dx}, \qquad p_{yy} = p - 2\varepsilon\dfrac{dv}{dy}, \qquad p_{zz} = p - 2\varepsilon\dfrac{dw}{dz}; \\ p_{yz} = -\varepsilon\left(\dfrac{dv}{dz} + \dfrac{dw}{dy}\right), \quad p_{zx} = -\varepsilon\left(\dfrac{dw}{dx} + \dfrac{du}{dz}\right), \quad p_{xy} = -\varepsilon\left(\dfrac{du}{dy} + \dfrac{dv}{dx}\right); \\ \text{ou:} \quad p = \frac{1}{3}(p_{xx} + p_{yy} + p_{zz}) \quad \text{puisque} \quad \dfrac{du}{dx} + \dfrac{dv}{dy} + \dfrac{dw}{dz} = 0. \end{cases}$$

» Nous donnons le signe —, dans les seconds nombres, aux termes affectés des dérivées de u, v, w, afin que les premiers membres soient bien des *pressions*, et non des *tensions* ou *tractions*, comme dans les formules des solides élastiques, très-analogues du reste à celles que nous venons d'écrire quand ces solides sont isotropes.

» Elles peuvent être réduites à ce théorème, ou à cette loi supposée il y a deux siècles par Newton (**), que les frottements ou les *composantes tangen-*

(*) *Comptes rendus,* 20 février 1854, t. XXXVIII, p. 329.

(**) *Principes mathématiques de la philosophie naturelle,* IXe section, proposition LI à LIII de la fin du tome Ier, où Newton disserte sur le mouvement des fluides par tourbillons.

Observons que les critiques dont la proposition LI a été l'objet n'ont porté que sur la manière inexacte dont Newton a appliqué son hypothèse, et non sur l'hypothèse elle-même, de proportionnalité des frottements « aux translations réciproques des couches ». Ainsi, Jean Bernoulli (*Nouvelles pensées sur le système de M. Descartes,* OEuvr. compl., t. III, no CXXXVIII, § XVII) lui reproche avec raison d'avoir omis de multiplier, par leurs bras de leviers respectifs, les forces de frottement agissant en deux sens contraires (p. 144) sur la face concave et sur la face convexe d'une même couche fluide cylindrique de petite épaisseur;

tielles de pression, telles que p_{yz}, sont partout proportionnelles aux *vitesses de glissement relatif* des couches de même direction, vitesses angulaires qui sont représentées, en effet, par les binômes tels que $\frac{dv}{dz} + \frac{dw}{dy}$, dont le premier terme exprime, pour l'unité de temps et de distance des couches, le glissement qui vient de l'inclinaison prise par la ligne matérielle normale à la face sur laquelle le frottement s'exerce, et, le second, celui qui vient du mouvement angulaire de cette face elle-même, ou d'une droite qui y est tracée.

» Les trois dernières formules (1) entraînent, en effet, comme on verra, les trois premières, où figurent les trois *vitesses d'extension*, telles que $\frac{du}{dx}$, et celles-ci réciproquement entraînent celles-là.

» Il faut bien remarquer aussi que la partie des trois composantes normales qui est indépendante du *coefficient de frottement* ε, et qui se trouve désignée par p sans indice, n'est pas, comme l'ont cru quelques auteurs, leur partie *purement hydrostatique*, ou ce à quoi elle se réduirait si le mouvement cessait tout à coup; car la gravité, ou la charge verticale d'eau jusqu'à la surface libre, ne constitue pas seule son intensité : l'inertie actuellement en jeu y a aussi part. Ce tiers p de la somme des trois pressions normales, qui reste le même pour tous les systèmes d'axes coordonnés orthogonaux, est donc plutôt la partie des pressions qui est indépendante du frottement des fluides, ou qui subsisterait seule si toute friction pouvait s'annuler, en sorte que, lorsqu'on appelle *parties dynamiques* les parties *frictionnelles*, ou ce qui reste en retranchant p, on parle inexactement, et l'on s'expose à des omissions dont il y a eu des exemples.

» 3. Il est bon d'observer aussi que les raisonnements et calculs qui ont conduit à établir ces formules (1) ne se bornent pas au cas hypothétique de

---

et d'Alembert lui reproche avec non moins de fondement, en le reprochant également à Bernoulli (*Traité des fluides*, liv. III, ch. VII, nos 379 et 384), d'avoir omis la constante de l'intégration.

En rectifiant sous ce double rapport le calcul de Newton, j'ai reconnu (*Mémoire sur la résistance des fluides*, présenté le 15 février 1847, et dont un extrait est au *Compte rendu*, t. XXIV, p. 243) qu'on trouve, pour les diverses couches cylindriques composant le tourbillon, des vitesses *absolues* (et non, comme concluait Newton, des vitesses *angulaires*) en raison inverse de la distance à l'axe. C'est précisément la loi que Léonard de Vinci a indiquée (*Del moto e misura dell'acqua*, liv. IV, ch. LII; — ou bien *Essai sur les ouvrages de L. de Vinci*, lu en 1797 par Venturi, fragment Xe et observations à la suite; — ou encore : *Recherches sur la communication latérale du mouvement dans les fluides*, prop. XI).

mouvements d'une régularité idéale et parfaite : ils s'étendent au cas réel de ces stries où les trajectoires des molécules sont affectées de ces petites ondulations, intermoléculaires sans lesquelles aucun frottement ne s'exercerait, et qui tiennent inévitablement à ce que les molécules passent les unes devant les autres en s'attirant et se repoussant mutuellement. Les amplitudes supposables de ces stries étant, en effet, bien moindres que les distances auxquelles les molécules agissent les unes sur les autres, on peut, dans l'évaluation des actions, les abstraire ou compenser mutuellement leurs très-petites influences en remplaçant les trajectoires striées par d'autres sans stries, ou n'ayant partout que de petites courbures.

» 4. Il n'est pas inutile de dire que les mêmes formules s'obtiennent encore, et identiquement, par des considérations théoriques de formes différentes.

» Ainsi, M. Stokes, l'éminent professeur de Cambridge (*), après avoir réduit analytiquement les vitesses des diverses molécules composant un fluide à une vitesse commune de translation, à une vitesse commune de rotation, et à trois vitesses d'extension principales dont les différences deux à deux peuvent être considérées comme des *vitesses de déformation* (shifting), observe que celles-ci doivent avoir des grandeurs proportionnelles aux nombres de *sauts* moléculaires (starts) ou des passages d'un arrangement à un autre, qui s'opèrent dans l'unité des temps et qui, en faisant l'effet de chocs successifs, engendrent des résistances à la déformation continuellement opérée. D'où il conclut (ce qui suffit pour établir le reste) que les trois inégalités ou différences deux à deux des trois pressions normales dites *principales* sont à chaque instant proportionnelles aux différences des vitesses d'extension dans leurs sens respectifs.

» Ainsi l'auteur d'un Mémoire plus récent (**) observe que, dans chacun des états moléculaires par lesquels le fluide passe, il pourrait rester en équilibre, mais que le mouvement qui se continue détruit ces états à mesure qu'ils se sont formés, pour les remplacer bientôt par d'autres ; et que la résistance opposée par le fluide à la déformation par glissement de ses couches les unes devant les autres est évidemment d'autant plus grande

---

(*) *On the Theories of the internal Friction of Fluids in motion, etc.* (*Cambridge's Transactions*, vol. VIII, part. III, p. 292 et 293 ; 1847.)

(**) Sur l'influence des frottements dans les mouvements réguliers des fluides, par M. Boussinesq (*Journal des Mathématiques pures et appliquées*, 2e série, t. XIII, 1868 ; et aussi, *Comptes rendus*, 27 juillet, t. LXVII, p. 287).

qu'est plus grand lui-même le nombre d'états stables par lesquels il passe dans un temps donné; en sorte que le frottement est proportionnel à la vitesse de glissement. C'est le raisonnement de M. Stokes, simplifié et appliqué à la composante tangentielle maximum au lieu de l'être aux différences deux à deux des composantes normales principales des pressions; il a aussi de l'analogie avec le raisonnement qui a été fait par Coulomb pour le frottement d'un fluide et d'un solide dans des mouvements très-lents.

» On arriverait vraisemblablement encore aux mêmes conclusions en supputant les *pertes*, c'est-à-dire les conversions successives, et sans retour, de force vive translatoire en force vive vibratoire atomique ou en *chaleur*, par suite du passage des molécules les unes devant les autres.

» 5. Il y a mieux : ces formules (1) des pressions et frottements à l'intérieur des fluides doivent être considérées comme pleinement confirmées par les faits, toujours pour les mouvements réguliers, ou affectés seulement, comme on a dit, de stries au-dessous de toute grandeur perceptible.

» En effet, feu le D[r] Poiseuille, ancien élève de l'École Polytechnique, a fait sur de petits tubes, dont les diamètres ont varié de $\frac{1}{7}$ à $\frac{2}{3}$ de millimètre, de nombreuses expériences d'écoulement, où l'eau a pris des vitesses depuis 2 centimètres jusqu'à 42 mètres par seconde, sous des différences de pressions extrêmes, qui, évaluées en hauteur de colonne d'eau, ont été de $0^m,326$ à 83 mètres; différences qui, divisées par les longueurs respectives des tubes, ont donné des *pentes fictives* depuis 1 jusqu'à 421 de hauteur sur 1 de base. Toutes ces expériences, et celles de vérification auxquelles la Commission de l'Académie s'est livrée avant de lire son Rapport approbatif, ont donné des vitesses moyennes (quotients des débits par les aires des sections) proportionnelles aux pentes ainsi définies, et aux carrés des diamètres. Or, c'est précisément la double loi à laquelle sont arrivés M. Émile Mathieu (*) et M. Boussinesq (**), en appliquant à ces écoulements les équations de Navier ou les expressions (1). Ils ont fait pour y arriver, il est vrai, et sans avoir connu les travaux l'un de l'autre, une hypothèse, celle de la nullité de la vitesse contre les parois (***). Mais le second de ces deux

(*) *Comptes rendus*, 10 août 1863, t. LVII, p. 320.

(**) *Mémoire cité sur l'influence des frottements, etc.*, du 27 juillet 1868; ou *Rapport* du 3 août 1868; *Comptes rendus*, t. LXVII, p. 219 et 287.

(***) En appelant u la vitesse du fluide à une distance r de l'axe du tube dont le rayon est R et la longueur est L, comme, d'après la loi de Newton ou de Navier, $\varepsilon\left(-\frac{du}{dr}\right)$ est le

géomètres en donne une raison à laquelle on ne peut se refuser : « Si, » dit-il, et toujours dans les mêmes conditions de régularité des mouve- » ments, une différence extrêmement petite de vitesse, comme celle qui a lieu » entre les molécules de deux couches contiguës, dont l'action ne se fait » sentir qu'à des distances imperceptibles, développe une force sensible, » une différence finie de vitesse entre les molécules de la paroi et celles du » fluide en engendrerait une incomparablement plus considérable, à la- » quelle celle-là ne pourrait plus faire équilibre. » Il prouve d'ailleurs que si l'on suppose, contre les parois du tube, une vitesse finie à laquelle le frottement soit proportionnel (comme Navier croyait l'avoir démontré dans une partie contestable de son Mémoire) ou dont le frottement soit plus généralement une fonction, l'on arrive à de tout autres lois, pour les tubes de M. Poiseuille, que celles qui ont été révélées par les expériences citées (*).

---

frottement retardateur s'exerçant sur l'unité de surface du cylindre fluide de rayon r, on a, pour l'équation de la non-accélération de son mouvement, ρg étant le poids de l'unité de volume et $\mathrm{H} = \mathrm{IL}$, la différence des hauteurs de charge aux extrémités, ou I étant la pente fictive,

$$\mathrm{L}\,2\pi r\varepsilon\left(-\frac{du}{dr}\right) = \pi r^2 \rho g \mathrm{H},$$

d'où

$$(a) \qquad \varepsilon\frac{du}{dr} + \frac{\rho g \mathrm{I} r}{2} = 0,$$

qui donne, ε étant regardé comme constant, et en faisant $u = u_m$ pour $r = 0$, avec $u = 0$ à la paroi, ou, pour $r = \mathrm{R}$,

$$(b) \qquad u_m - u = \frac{\rho g \mathrm{I}}{4\varepsilon} r^2, \quad u_m = \frac{\rho g}{4\varepsilon}\mathrm{IR}^2;$$

d'où, en appelant U la vitesse moyenne d'écoulement,

$$(c) \qquad \mathrm{U} = \frac{1}{\pi \mathrm{R}^2}\int_0^{\mathrm{R}} u . 2\pi r dr = \frac{\rho g}{8\varepsilon}\mathrm{IR}^2 = \tfrac{1}{2}u_m,$$

bien proportionnelle à la pente et au carré du diamètre conformément aux expériences.

(*) En effet, si la vitesse contre la paroi, ou pour $r = \mathrm{R}$, est une fonction f du frottement, on a

$$u_m - f\left(\frac{\rho g \mathrm{IR}}{2}\right) = \frac{\rho g \mathrm{IR}^2}{4\varepsilon}, \quad u = \frac{\rho g \mathrm{I}}{4\varepsilon}(\mathrm{R}^2 - r^2) + f\left(\frac{\rho g \mathrm{IR}}{2}\right);$$

d'où la vitesse moyenne

$$\mathrm{U} = \frac{\rho g}{8\varepsilon}\mathrm{IR}^2 + f\left(\frac{\rho g \mathrm{IR}}{2}\right).$$

Pour que U fût proportionnel à la pente I, il faudrait que la fonction f fût du premier de-

» Et il déduit des expériences qu'on a pour l'eau à 10 degrés, l'unité superficielle étant le mètre carré et l'unité de poids le kilogramme,

$$\varepsilon = \frac{1}{7488},$$

valeur trouvée très-sensiblement constante par toutes ces expériences, malgré la grande variété des vitesses, des charges ou des pentes motrices et aussi des diamètres qui tous, seulement, sont plus petits qu'un millimètre (*). »

MÉTÉOROLOGIE. — *Sur l'application probable des symétries quadruple, dodécuple et tridodécuple, ou des périodes de 90 jours, de 30 jours et de 10 jours, aux retours moyens des phénomènes électriques de l'atmosphère (orages et aurores boréales).* Note de **M. Ch. Sainte-Claire Deville.**

« La Note que j'ai eu l'honneur de présenter à l'Académie, dans sa dernière séance, de la part de M. Silbermann, devait être accompagnée de considérations sur la périodicité des aurores boréales. La nécessité de ne point dépasser les limites réglementaires m'a seule empêché de les joindre au travail principal. L'auteur y faisait, en particulier, remarquer cette

---

gré; et il la faudrait du second degré, aussi monôme, pour que U fût proportionnel au carré R^2. Cette fonction, ou la vitesse contre la paroi, doit donc être faite nulle.

Si les expériences de Girard (*Mémoires de l'Institut*, 1813-1816), citées par Navier, ont semblé donner des vitesses proportionnelles aux diamètres et non à leurs carrés (comme si le premier terme de la valeur précédente de U était négligeable devant le second supposé fonction du premier degré de IR), cela tient, ainsi que l'observe M. Poiseuille, à ce que les mouvements n'y ont pas été réguliers, vu la grandeur de leurs diamètres, de 2 à 4 millimètres, comparée à leurs longueurs trop petites de toute manière pour que la régularité pût s'y établir. Girard lui-même convient que ces mouvements n'ont pas toujours été *linéaires* ou bien parallèles à l'axe. On peut remarquer que la formule $U = \frac{g\zeta}{E\lambda}\frac{D}{4} = \frac{\rho g}{2\rho E}$ IR (*Leçons* citées, n° 108) que Navier semble déduire de son analyse est, par le fait, indépendante de toute la partie de son Mémoire relative aux frottements intérieurs ou des formules (1) ci-dessus, et n'est qu'une déduction de sa supposition que le frottement des parois est proportionnel aux vitesses finies du fluide glissant contre leur surface mouillée.

(*) Quand la température est T, il faut multiplier cette fraction par

$$\frac{1,3368}{1 + 0,03368\,T},$$

c'est-à-dire par 1,3368 à 0 degré, 0,7987 à 20 degrés, etc.

singulière coïncidence que la brillante aurore du 4 février dernier avait été précédée, exactement à un an de distance, par un phénomène semblable, observé les 3 et 4 février 1871, dans le midi de la France, en Italie, dans le nord de l'Amérique et à Melbourne (Australie), et, à deux ans de distance, par une aurore boréale, observée aussi le 4 février 1870.

» J'avais, de mon côté, me plaçant à un tout autre point de vue, c'est-à-dire à celui des périodes *quadruple* et *dodécuple* que j'ai signalées depuis longtemps dans l'ensemble des phénomènes météorologiques, recherché la périodicité des manifestations électriques et magnétiques de l'atmosphère. Déjà, dans quatre courtes Notes, publiées aux *Comptes rendus* des 26 avril, 3, 10 et 17 mai 1869, j'ai montré que, de mai 1868 à mai 1869 (inclus), chaque retour des *saints de glace* des *févruarides* avait été annoncé par des manifestations de ce genre. Je pourrais encore, pour terminer l'année 1869, citer les orages des 11 au 14 août et les bourrasques, avec grêle, du 10 au 15 novembre.

» Mais je veux aujourd'hui serrer de plus près la périodicité de ces phénomènes, et montrer que, depuis deux ans, presque aucune des échéances mensuelles, entre le 9 et le 16, ne s'est passée sans qu'on y ait signalé des orages ou des aurores boréales. Et, pour que le champ des constatations ne puisse pas être considéré comme trop étendu, je n'emprunterai mes citations qu'à un seul Recueil, le *Weather-Report*, publié par le *Meteorological Office*, dont les remarques ne s'appliquent guère qu'aux îles Britanniques, ou au nord de l'Europe et à la France (1). Je commence où je me suis arrêté dans mon précédent travail, c'est-à-dire à décembre 1869. Voici les coïncidences que je remarque :

1869. Décembre : 13-14, bourrasque très-violente; nuit du 14 au 15, forte bourrasque du sud-ouest et de l'ouest sur toutes les côtes, avec beaucoup d'éclairs à Nairn et dans le sud de l'Irlande, et de la grêle en une foule de points.

1870. Janvier : 12, tonnerre et éclairs en diverses stations du sud-ouest; 13, éclairs à Plymouth.

Février : nuit du 11 au 12, aurore en Écosse.

Mars : nuit du 9 au 10, aurore à Greencastle; nuit du 13 au 14, faible aurore à Penzance.

Avril : 10, tonnerre et éclairs à Londres; 11, éclairs à Greencastle.

---

(1) C'est ainsi que j'ai procédé lorsque, dans ma *sixième Note* sur les variations périodiques (*Comptes rendus*, t. LXII, p. 1299), j'ai montré le retour périodique des bourrasques avec les *saints de glace* des févruarides, en citant seulement le *Bulletin international* de l'Observatoire de Paris.

Mai : 15, tonnerre dans le midi de la France; 16, violent orage avec grêle à Roche's Point et à Aberdeen.

Juin : aucun phénomène électrique signalé.

Juillet : 9, tonnerre, éclairs, pluie et brouillard dans le sud-ouest de l'Angleterre; 11-12, orage à Londres et à Aberdeen, très-violent dans cette dernière localité; 15, orage à Londres et à Aberdeen.

Août : 16-17, orage à Oxö.

Septembre : 13, tonnerre et éclairs à Roche's Point.

Octobre : 13, orage à Valentia.

Novembre : 13-14, tonnerre, éclairs, pluie et neige dans l'ouest de l'Angleterre.

Décembre : aucun phénomène électrique signalé.

1871. Janvier : 12-13, aurore à Lovanio, Münster, Breslau, Cologne, Schleswig, Melbourne et Amérique du Nord (1); nuit du 13 au 14, brillante aurore à Thursö.

Février : nuits du 11 au 12 et du 12 au 13, aurore en Angleterre; 12-13, aurore en Italie, dans le nord de l'Europe et de l'Amérique méridionale, à Melbourne (2); nuit du 13 au 14, brillante aurore à Thursö.

Mars : 12-13, aurore en Angleterre.

Avril : 13-14, aurore en Angleterre et à Thursö.

Mai : 9, une violente bourrasque du nord-nord-est avec pluie, orage et éclairs est passée sur Londres; 11, grêle à Wick; 12, tonnerre à Biarritz.

Juin : 15, éclairs et tonnerre sur la côte sud-est de l'Angleterre.

Juillet : 15, orages à Shields et à Plymouth.

Août : 11-12, aurore à Valencia, éclairs à Roche's Point; 12-13, aurore à Nairn; orages sur la côte sud-est et à Biarritz; 15-16, orages en Angleterre et à Biarritz.

Septembre : 9-10, aurore aux Shetland; 10, orage à Portsmouth; 11-12, aurore à Shields, orages sur la côte sud-ouest; 12-13, aurore aux Shetland; 14, orage à Biarritz; 15, orages à Rochefort et à Biarritz; 15-16, aurore à Roche's Point, orage à Biarritz.

Octobre : 12-13, aurore à Thursö; 15-16, brillante aurore à Thursö et à Londres.

Novembre : 9-10, brillante aurore sur l'Angleterre; 10-11, brillante aurore sur l'Angleterre.

Décembre : 13, orage à Cuxhaven.

1872. Janvier : 9-10, aurore à Thursö; 14-15, éclairs à Valentia.

Février : 13, orage très-violent à Vendôme; 14, orage à Paris; 15, lumière aurorale et perturbation magnétique à Aoste (3).

» Ainsi, sur vingt-sept mois consécutifs, deux seulement, juin et décembre 1870, n'ont pas été signalés, en Angleterre et dans une petite partie de l'Europe avoisinante, par des phénomènes électriques (orages ou aurores

---

(1) Citée par le P. Denza.

(2) Citée par le P. Denza.

(3) Observation de M. G. Volante.

boréales) survenus pendant cette période critique, qui se concentre entre le 10 et le 15 (1).

» Il me paraît difficile de ne point être frappé de la coïncidence de ces retours réguliers avec la période de trente jours, que j'ai appelée *dodécuple*.

» Je ne voudrais pas quitter ce sujet sans indiquer déjà, dans ces phénomènes électriques de l'atmosphère, des indices de la symétrie *tridodécuple* ou du retour à des intervalles moyens de dix jours, que j'ai déjà montrée dans les oscillations de la température et de la pression barométrique. En voici deux exemples que j'extrais de la même source.

1870. Juillet : 24-25, orages dans l'ouest de l'Angleterre.

Août : 4, tonnerre à Ardrossan et à Greencastle; 16-17, orage à Oxö; 24, tonnerre à Nairn.

Septembre : 3-4, aurore boréale dans le nord et l'ouest de l'Angleterre; 13, tonnerre et éclairs à Roche's Point; 24-25-26, aurores en Écosse, en Irlande et en Angleterre.

Octobre : 4, éclairs à Wick et à Cuxhaven; 13, orage à Valencia; 23-24-25, brillantes aurores en France et en Angleterre.

1871. Juillet : 15, orages à Shields et à Plymouth; 24, tonnerre et éclairs sur la côte est de l'Angleterre.

Août : 4, éclairs à Douvres; 11-16 (*voir* la précédente énumération); 24-25, aurore à Roche's Point; tonnerre et éclairs à Leith.

Septembre : 4, tonnerre à Roche's Point; nuit du 4-5, aurore en Irlande et en Écosse; 9-16 (*voir* la précédente énumération); 23, grêle à Valentia; 24, tonnerre à Nairn.

Octobre : 4, éclairs à Yarmouth; 12-16 (*voir* la précédente énumération).

» Enfin, on peut remarquer que la magnifique aurore boréale du 4 février dernier avait été précédée, le 24 janvier, d'une dépression barométrique extraordinaire, qui s'est étendue sur une grande partie de l'Europe, et qu'elle a été suivie, le 14, d'un orage qui a passé sur Paris entre 6 et 7 heures du soir.

» Les faits que je viens de rapprocher, comme ceux que je rappelais dans mes Notes de 1869, ne présentent encore que de simples coïncidences; mais ces coïncidences méritent, dès maintenant, d'être signalées, et j'espère pouvoir un jour leur appliquer les procédés de recherche plus précis que

---

(1) Encore sur ces deux échéances qui seules font défaut, est-il nécessaire de remarquer que l'une, celle de décembre, est signalée par une succession non interrompue de violentes bourrasques, qui, du 9 au 15, parcourent toute l'Angleterre en la couvrant de pluie et de neige.

j'ai employés pour déceler les variations périodiques de la température et de la pression atmosphériques. »

MÉCANIQUE APPLIQUÉE. — *Théorème sur le spiral réglant des chronomètres;* *par* M. PHILLIPS.

« Dans mon Mémoire de 1860 *sur le spiral réglant des chronomètres et des montres*, j'ai démontré que les conditions à remplir par le spiral, au point de vue de l'isochronisme, sont que sa forme soit telle : 1° qu'il n'exerce, pendant le mouvement, aucune pression contre l'axe du balancier; ou 2° que le centre de gravité du spiral reste constamment, pendant le mouvement, sur cet axe, et que la réunion, s'il était possible, de ces deux conditions, résoudrait la question avec une approximation, pour ainsi dire, du second ordre. J'ai fait voir, en outre, que les courbes terminales déduites de la théorie, en vue de satisfaire à la première condition, vérifiaient en même temps la seconde. Ces courbes terminales ont d'ailleurs été déterminées en ayant égard à la forme générale habituelle des spiraux supposés cylindriques.

» Dans la séance de l'Académie du 13 novembre 1871, j'ai présenté un théorème démontrant rigoureusement le fait général suivant :

» *Toutes les fois que la forme d'un spiral est telle qu'il n'existe, pendant le mouvement, aucune pression contre l'axe du balancier, il arrive que, pendant le mouvement, le centre de gravité de ce spiral est constamment sur l'axe du balancier.*

» Il arrive ainsi que la seconde condition mentionnée ci-dessus est toujours une conséquence de la première.

» L'objet du nouveau théorème que j'ai l'honneur de présenter aujourd'hui à l'Académie est d'établir que, réciproquement, toutes les fois que la forme d'un spiral est telle que, pendant son mouvement, son centre de gravité soit constamment sur l'axe du balancier, il arrive que celui-ci n'éprouve, pendant le mouvement, aucune pression de la part du spiral.

» Il en résulte que l'une quelconque des deux conditions générales mentionnées ci-dessus est toujours une conséquence de l'autre.

» La démonstration de ce second théorème faisant suite à celle du premier, je conserve les mêmes notations, en appelant seulement A‴ le point de la circonférence de la virole dont les coordonnées avaient été désignées par x''' et y'''.

» Il avait été établi que x'' et y'' étant les coordonnées de l'extrémité A″

du spiral, après la déformation, on a

(1) $$x'' = \int_0^L \cos\left(\theta_0 + \frac{\alpha s}{L}\right) ds$$

et

(2) $$y'' = \delta' - \int_0^L \sin\left(\theta_0 + \frac{\alpha s}{L}\right) ds,$$

et que

(3) $$x''' = \delta'' \sin(\theta''_0 - \gamma'' + \alpha)$$

et

(4) $$y''' = \delta'' \cos(\theta''_0 - \gamma'' + \alpha).$$

Enfin, x_1 et y_1 étant les coordonnées du centre de gravité du spiral, on a démontré que

(5) $$x_1 = x'' - \int_0^L \frac{s}{L} \cos\left(\theta_0 + \frac{\alpha s}{L}\right) ds$$

et

(6) $$y_1 = y'' + \int_0^L \frac{s}{L} \sin\left(\theta_0 + \frac{\alpha s}{L}\right) ds.$$

» Comme, par hypothèse, on a constamment $x_1 = 0$ et $y_1 = 0$, il en résulte

(7) $$x'' = \int_0^L \frac{s}{L} \cos\left(\theta_0 + \frac{\alpha s}{L}\right) ds$$

et

(8) $$y'' = -\int_0^L \frac{s}{L} \sin\left(\theta_0 + \frac{\alpha s}{L}\right) ds.$$

» Des équations (1) et (2), on tire

$$\frac{d(x'' - x''')}{d\alpha} = -\int_0^L \frac{s}{L} \sin\left(\theta_0 + \frac{\alpha s}{L}\right) ds - \delta'' \cos(\theta''_0 - \gamma'' + \alpha),$$

ou, à cause de (8) et (4),

(9) $$\frac{d(x'' - x''')}{d\alpha} = y'' - y'''.$$

» Des équations (2) et (4), on tire aussi

$$\frac{d(y'' - y''')}{d\alpha} = -\int_0^L \frac{s}{L} \cos\left(\theta_0 + \frac{\alpha s}{L}\right) ds + \delta'' \sin(\theta''_0 - \gamma'' + \alpha),$$

ou, à cause de (7) et (3),

$$(10) \qquad \frac{d(y'' - y''')}{d\alpha} = -(x'' - x''').$$

» On déduit ensuite des équations (9) et (10)

$$(x'' - x''')\, d(x'' - x''') + (y'' - y''')\, d(y'' - y''') = 0;$$

d'où, en intégrant,

$$(11) \qquad (x'' - x''')^2 + (y'' - y''')^2 = K^2.$$

» Il résulte de là que la distance K des deux points A″ et A‴ est constante, et comme, pour $\alpha = 0$, cette distance est nulle, il s'ensuit que les deux points A″ et A‴ coïncident pendant tout le mouvement.

» Il est d'ailleurs évident que le spiral coupe toujours la circonférence de la virole sous l'angle donné γ'', puisque le rayon de courbure du spiral en A″ fait un angle $\theta''_0 + \alpha$ avec l'axe OY, et que le rayon OA‴ de la virole fait avec ce même axe OY un angle $\theta''_0 - \gamma'' + \alpha$.

» Le théorème se trouve ainsi démontré. »

ASTRONOMIE PHYSIQUE. — *Sur l'aurore boréale du 4 février, observée à Rome, et sur quelques nouveaux résultats d'analyse spectrale.* Lettre du **P. Secchi** à M. le Secrétaire perpétuel.

« Rome, ce 9 février 1872.

» L'apparition d'une aurore boréale complète dans nos latitudes est un phénomène fort extraordinaire. Nous avons eu, en octobre 1870, des apparitions assez belles sans doute, mais elles sont loin d'égaler celle du 4 février : je me souviens d'avoir vu seulement en Angleterre, en octobre 1848, une aurore comparable à cette dernière, et encore la regardait-on comme extraordinaire à cette latitude boréale.

» Je n'entrerai pas dans tous les détails, et je me bornerai à signaler quelques circonstances physiques, qui me paraissent les plus intéressantes.

» Les énormes perturbations magnétiques observées à $5^h 47^m$ (1) nous signalèrent le phénomène. Il était déjà visible, malgré le fort crépuscule. Il y avait, à $6^h 7^m$, deux plaques très-vives au nord et au nord-nord-est; leur lumière égalait celle du crépuscule au couchant. L'apparence de ces plaques était celle de nuages éclairés et phosphorescents : bientôt, il en parut

(1) Toutes ces heures sont celles de Rome.

une troisième au nord-ouest. Les premiers rayons rouges et brillants se montrèrent à $6^h 25^m$, à 40 degrés du nord vers l'ouest vrai. Après cela, il y eut un mouvement continuel de masses brillantes, qui se succédaient, en divers points du ciel, du nord-ouest par le nord au nord-est. A $6^h 45^m$, sur un fond cramoisi, se forma un arc complet, brillant d'une belle lumière jaune verdâtre, s'étendant de l'ouest 80 degrés nord vrai, au nord 83 degrés est. Quelques minutes après, cet arc était couronné d'une brillante auréole de rayons rouges. A $6^h 49^m$, l'arc se doubla : la lumière, passant rapidement sur le zénith, envahissait les Pléiades et la constellation d'Orion. A $7^h 7^m$, la couronne se forma pour la première fois, au delà du zénith. Dans ce moment, les rayons qui se soulevaient de tout l'horizon du côté du nord et leurs rudiments du côté du sud convergeaient tous vers l'étoile d'Aldébaran. Les colonnes partaient du nord-ouest, mais elles étaient plus brillantes au nord-est et à l'est.

» Jusqu'à ce moment, l'aspect de l'aurore était celui d'une large bande, nébuleuse et phosphorescente, qui se mouvait parallèlement à elle-même, dans la direction du méridien, en le coupant à peu près à angle droit, et s'avançant vers le sud avec un éclat intermittent. A $8^h 28^m$, une grande bande partie de l'ouest allait traverser les étoiles de la ceinture d'Orion. Cette bande était interrompue en certains intervalles et paraissait se réanimer au souffle du vent, qui soufflait du nord par faibles bouffées.

» Après que la zone eut dépassé l'équateur, l'aspect du météore entra dans une deuxième phase. Tout le ciel, excepté une petite portion à l'horizon du côté du sud, brillait d'une lumière pourprée, qui se transformait en un jaune vert plus vif du côté du nord. Sur ce fond brillant, se détachaient de nombreux rayons, d'une couleur pourpre dorée, qui allaient tous converger dans une petite région située au delà du zénith, près du méridien. Dans certains instants, le ciel ressemblait à un globe divisé par ses méridiens, ayant un pôle entre notre zénith et l'équateur. A $7^h 45^m$, ce pôle était dans la tête d'Orion, près du groupe des étoiles $\rho' \varphi''$ (déclinaison 11 degrés); à $8^h 29^m$, il était sur la belle étoile α d'Orion (déclinaison 7 degrés); à $8^h 42^m$, il correspondait à la tête du monoceros (déclinaison 9 degrés); ces positions étaient un peu à l'est du méridien. Le déplacement était en partie dû à la rotation de la sphère céleste, mais évidemment il y avait un mouvement oscillatoire, dans le sens du méridien. Ces positions sont assez exactes : on les a prises avec les alignements au moyen d'un ruban noir.

» L'inclinaison magnétique à Rome étant 58°50′, la prolongation de l'aiguille d'inclinaison rencontre la sphère céleste à 10°42′ de déclinaison : on voit par là que le pôle des rayons a oscillé autour de la prolongation

de cette aiguille. L'aiguille elle-même, dans ce moment, était très-agitée, de sorte qu'elle marquait 1° 11′ de plus.

» L'axe de symétrie de l'aurore n'était pas dans le méridien magnétique à l'horizon, mais du côté de l'est; c'est de ce côté que se manifestèrent les colonnes les plus vives et les plus brillantes. La déclinaison oscillait d'environ un demi-degré à l'est et à l'ouest de sa position normale. Le barreau destiné à mesurer la force horizontale fut tellement troublé qu'il sortit de l'échelle, et l'on ne put avoir qu'une approximation grossière de la variation : elle aurait été d'environ 0,0262 de l'intensité horizontale. Le barreau à balance sortit aussi de son échelle et ne permit aucune appréciation de la force verticale : l'extrémité nord était profondément inclinée.

» J'ai remarqué ces détails, car il est admis que la couronne se forme sur le prolongement de l'aiguille de l'inclinaison : on voit ici que cette position n'est qu'approchée, et que l'*apex* des rayons s'est avancée continullement du nord vers le sud.

» A 9 heures, l'aurore commençait à pâlir : la lumière restait brillante, mais uniforme dans l'hémisphère nord, et sans colonnes. A 11 heures, le ciel était encore clair : un segment obscur bordait l'horizon. Enfin, à 3 heures du matin suivant, tout avait disparu.

» Le spectre de la couronne était très-vif. La raie jaune 5560 (Angström) était visible sur toutes les parties du ciel. Dans les spectres des colonnes rouges vives, on voyait aussi une raie rouge, peut-être la raie C. Dans les régions vives de l'arc, on remarquait des lignes nombreuses et une trace de spectre continu dans le vert.

» Les circonstances météorologiques qui ont accompagné cette aurore sont également intéressantes. Depuis trois jours, nous avions un temps magnifique, véritable printemps, température douce de 8 à 9 degrés; à midi, la température s'éleva à 14 degrés, ciel très-clair, calme absolu dans le vent; seulement le baromètre était assez bas (763 à 764 millimètres) et au-dessous de la moyenne; on remarquait une grande humidité. Le matin du 4, cette humidité était si intense, qu'elle produisit un brouillard pénétrant partout, et le pluviomètre recueillit un demi-millimètre d'eau sans aucune pluie. Dans l'après-midi, le baromètre commença à monter, continua sa marche pendant l'aurore (767^{mm}) et arriva le jour suivant à $772^{mm},4$. Pendant l'aurore, il y eut des bouffées de vent du nord, et une grande précipitation de rosée. L'électricité statique était faible au commencement, mais elle augmenta au moment du plus bel éclat de la couronne; elle ne fut cependant pas très-forte. La température fut variable entre 9 et 8 degrés.

» Les deux jours suivants furent aussi très-beaux; le 7, des voiles encombrèrent le ciel et le 8 nous eûmes la pluie; aujourd'hui 9, pluie et grêle à $1^h 50^m$. En général, j'ai remarqué que les aurores précèdent de peu de jours un changement de temps, qui n'est point accidentel et de peu d'importance, mais qui se produit pour ainsi dire sur une grande échelle : elles semblent en connexion avec les grands changements des mouvements atmosphériques. Cette fois, cette coïncidence est bien manifeste : d'une saison très-belle et tranquille, nous venons de passer à des pluies et des orages.

» On a cherché dernièrement à trouver une relation entre les aurores polaires et les protubérances ou éruptions solaires; il est difficile de se prononcer à ce sujet, car des protubérances solaires assez belles se rencontrent si souvent qu'il est très-facile d'en trouver quelques-unes en coïncidence avec les aurores; mais il est permis de douter qu'il y ait là une véritable connexion de cause à effet, parce que *toutes les belles protubérances ne sont pas accompagnées d'aurores*, ni de perturbations magnétiques. J'ai eu soin de le vérifier toutes les fois qu'il y a eu une grande éruption, sans trouver de coïncidence. Le beau ciel ayant favorisé cette fois l'observation des protubérances, du 1er février jusqu'au 6, voici le résultat que j'ai obtenu.

» Le 1er février, l'activité solaire était assez grande, on comptait 5 groupes de protubérances à l'est, 2 au pôle sud, 3 à l'ouest; la hauteur maximum était de 64 secondes. Le 2 février, la chaîne des protubérances persistait encore à l'est, avec un mouvement assez fort : elles s'étendaient de l'équateur jusqu'à 30 degrés sud, leur élévation atteignant à 126 secondes; deux autres groupes à l'ouest, latitude 30 degrés sud, près des taches. Le 3, continuation de la masse brillante, de 10 degrés est à 40 degrés vers le pôle sud. Des pointes très-vives, mais basses, à ouest 25 degrés nord, annonçant une activité assez grande, près de la tache; plusieurs petites protubérances à l'ouest, entre 15 et 40 degrés sud. Mais la particularité la plus singulière était que la chromosphère était comme formée de longs poils *tous dirigés régulièrement de l'équateur vers les pôles;* chromosphère notablement élevée aux pôles. Le 4, l'activité est plus grande que la veille : quatre beaux groupes de protubérances, à l'extrémité de deux diamètres se croisant chacun sous un angle de 30 degrés avec le parallèle céleste. Des pointes assez vives se manifestent à l'est 30 degrés sud. Une belle protubérance conique, diamétralement opposée, hauteur maximum 70 secondes.

Le 5, l'activité continue à l'ouest; elle est affaiblie à l'est. Le 6, activité assez grande à l'ouest, belle éruption à l'ouest 40 degrés sud, et plusieurs petites protubérances; beau groupe à l'ouest, 20 degrés sud; beaux jets à 30 degrés nord. Chromosphère offrant de beaux poils, comme le 4. De ces aperçus, il résulte que le 4 n'a présenté aucune particularité notablement plus remarquable que les autres jours. M. Tacchini a observé, le 3, à l'ouest, une belle éruption; elle a eu lieu à la place où j'ai vu les points très-vifs, qui la précédaient peut-être ou la suivaient. La disposition de la chromosphère du 4 est sans doute assez remarquable, mais, comme elle s'est renouvelée le 6, sans apparence aurorale, je ne saurais trouver de connexion entre ces deux phénomènes.

» Sans doute, l'activité est augmentée depuis le mois de décembre, mais nous sommes encore loin de l'activité observée en juillet et août derniers. Cet état est d'accord avec celui des taches, qui sont maintenant nombreuses. Mais, dans ce dénombrement, il y a encore trop de vague; on compte les *groupes* et les *points* : cela ne suffit pas, il faudrait évaluer la surface occupée, et surtout leur profondeur. Les protubérances observées pendant ces journées concordent avec l'augmentation des taches, mais celles-ci sont superficielles et petites, et, quoique nombreuses, elles sont loin de présenter une étendue et une modification de la surface solaire semblable au maximum dont j'ai parlé plus haut. De là, le manque de grandes éruptions; et, quoique sensiblement augmentées, les protubérances sont loin d'égaler celles qui s'observèrent à l'époque des taches très-larges et très-profondes.

» Maintenant que l'étude du Soleil fait des progrès considérables, il me paraît intéressant de ne plus se borner, comme on l'a fait jusqu'à présent, à une simple énumération des taches; il devient nécessaire d'entrer dans quelques détails pour en donner une idée plus exacte. Sans doute, cela rendra cette étude un peu plus laborieuse, mais sans cela elle restera dans le vague. Une description de ce genre a été faite à Kew, par M. de la Rue, sur des photographies; elle est également commencée au collége romain, et j'espère pouvoir en présenter bientôt quelques résultats à l'Académie.

» En profitant d'une de ces belles soirées, j'ai examiné de nouveau le spectre d'Uranus. J'ai trouvé les trois bandes précédemment indiquées : une dans le rouge, l'autre dans le jaune, et la troisième dans le bleu; cette dernière coïncide réellement avec la raie *f*, comme l'ont trouvé MM. Vogel et Huggins, contrairement à ce que j'avais cru voir à l'époque de la découverte de ce spectre curieux. Mais la bande du rouge demande,

pour être visible, une atmosphère parfaitement claire, et je ne suis pas surpris qu'elle n'ait pas été aperçue.

» *P. S.* — Dans les belles soirées de ce mois, Jupiter a présenté un aspect admirable. La bande équatoriale, d'une couleur rose très-prononcée, était semée d'un grand nombre de nuages jaunâtres. Au-dessus et au-dessous de cette bande, il y avait un grand nombre de zones très-déliées, avec d'autres fortes et étroites, qui ressemblaient à des fils tendus. Les couleurs bleues et jaunes formaient un contraste remarquable avec la zone rouge (ce contraste étant augmenté sans doute par un peu d'illusion). La surface de la planète est actuellement si différente de celle que j'ai vue autrefois, qu'il y a lieu d'en étudier la météorologie : cette étude ne serait peut-être pas inutile pour celle du Soleil lui-même, car, sur cette planète, nous pourrions voir l'effet des influences solaires mieux que sur toute autre.

» Le soir du 3, j'ai observé le passage du troisième satellite et de son ombre; le satellite paraissait presque *noir,* lorsqu'il se trouvait sur le milieu de la planète, et *notablement plus petit* que son ombre, qui était visible avec lui; on l'aurait évalué à la moitié seulement. En s'approchant du bord il disparut, et reparut peu après, tout près du bord, mais comme un point brillant. Ce fait n'est pas nouveau pour les autres satellites; mais pour le troisième, il est singulier. Ce résultat montre encore la grande différence de lumière entre le centre et le bord de la planète, différence déjà confirmée par la photographie. »

« M. Ch. Sainte-Claire Deville présente à l'Académie la troisième année (1870) des *Nouvelles météorologiques*, recueil mensuel, contenant les données atmosphériques pour soixante-quatre stations de la France et de l'étranger, et publié par le double concours de l'Observatoire météorologique central de Montsouris et de la Société météorologique de France, dont il a l'honneur d'être Président.

» Ce volume de 1870, dit M. Ch. Sainte-Claire Deville, a été en retard par suite des douloureuses circonstances que nous venons de traverser; mais nous préparons, en ce moment, les deux années 1871 et 1872, qui paraîtront concurremment. Pour la publication du volume de 1870, j'ai été aidé par un jeune savant, enlevé trop tôt à la science, M. Sonrel, et, pour les deux nouveaux volumes, j'ai la précieuse collaboration de M. Renou, ce défenseur, qu'on ne pourra jamais décourager, de l'exactitude, de la droiture et de la vérité. »

NOMINATIONS.

« L'Académie procède, par la voie du scrutin, à la nomination d'un Associé étranger, en remplacement de feu sir *John Herschell*.

Au premier tour de scrutin, le nombre des votants étant 51,

M. Airy obtient.	49	suffrages.
M. Tchébychef..	2	»

M. **Airy**, ayant réuni la majorité absolue des suffrages, est proclamé élu. Sa nomination sera soumise à l'approbation du Président de la République.

L'Académie procède, par la voie du scrutin, à la nomination d'un Associé étranger, en remplacement de feu sir *Roderick-Impey Murchison*.

Au premier tour de scrutin, le nombre des votants étant 52,

M. Agassiz obtient..	50	suffrages.
M. Bunsen..	1	»

Il y a un bulletin nul.

M. **Agassiz**, ayant réuni la majorité absolue des suffrages, est proclamé élu. Sa nomination sera soumise à l'approbation du Président de la République.

MÉMOIRES LUS.

PHYSIOLOGIE. — *Détermination des inclinaisons du plan de l'aile aux différents instants de sa révolution*. Note de M. **Marey**.

« Dans une série d'expériences présentées à l'Académie en 1870, j'ai montré que l'aile de l'oiseau décrit dans l'espace une ellipse.

» Les tracés graphiques, d'où j'avais tiré cette forme du parcours de l'aile, permettaient aussi de déterminer la hauteur de l'aile à chaque instant; on pouvait conséquemment connaître la vitesse avec laquelle s'effectuent l'élévation et l'abaissement de cet organe. Mais, pour passer de ces notions à celle du travail effectué par l'oiseau, pour savoir quelle résistance l'air oppose, à chaque instant, aux mouvements d'élévation ou d'abaissement de l'aile, il fallait aussi connaître l'angle sous lequel cet organe frappe l'air.

La résistance varie en effet d'une manière énorme, pour un organe mince comme l'aile d'un oiseau, suivant qu'il se déplace parallèlement à son plan ou perpendiculairement à celui-ci.

» Voici comment j'ai obtenu la solution de ce problème.

» Une buse, attelée à un manége de 7 mètres de diamètre, est suspendue de telle sorte que les mouvements de son vol s'effectuent le plus librement possible. L'oiseau entraîne en volant le manége, qui le contraint seulement à parcourir un trajet circulaire. Pendant ce temps, une tige légère, articulée à un mouvement de Cardan voisin de l'articulation de l'épaule, accompagne, dans tous ses mouvements, l'aile droite à laquelle on le relie au niveau de l'articulation carpienne.

» Les mouvements que la tige effectue de haut en bas sont transmis à un appareil enregistreur et fournissent la courbe des hauteurs de l'aile.

» Les mouvements d'arrière en avant que la tige et l'aile exécutent sont enregistrés de la même façon et donnent une seconde courbe.

» De ces deux courbes réunies, on déduit, par une construction simple, la courbe fermée qui représente le parcours de l'aile à chacune de ses révolutions.

» Reste à déterminer l'inclinaison du plan de l'aile à chacun des points de cette courbe fermée.

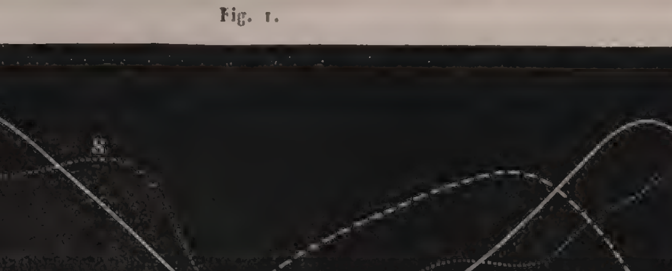
» Si l'on considère la partie osseuse de l'organe, c'est-à-dire l'humérus et l'avant-bras de l'oiseau, on voit que, si le plan de l'aile change, ces os subissent une sorte de torsion qui produit une rotation de la tête humérale dans sa cavité. C'est ce mouvement de rotation qu'il s'agit de transmettre à la tige et de faire enregistrer aussi sous forme de courbe.

» A cet effet, une sorte d'éventail dont les branches sont reliées aux principales rémiges de l'oiseau est adaptée à la tige qui produit les mouvements de l'aile. Cet éventail peut glisser le long de la tige, afin de permettre, s'ils existent, les mouvements de flexion et d'extension de l'aile; mais il ne peut changer de plan sans tordre la tige à laquelle il est fixé. Or l'articulation de Cardan ne permet pas les mouvements de torsion; cette articulation subira donc cette torsion comme la tige elle-même, et la transmettra à une autre tige qui, située sur le prolongement de la première, pivote dans un tube et traverse une poulie. C'est la rotation de cette poulie qui transmettra le signal des changements du plan de l'aile, ce qui donne naissance à une troisième courbe.

» Avec ces triples données, on peut construire non-seulement la trajectoire de l'aile, mais la série des positions qui représentent les inclinaisons de l'aile aux divers points de son parcours.

» La *fig.* 1 montre les trois courbes obtenues à la fois au moyen de l'appareil.

Fig. 1.



» La courbe tracée par un trait plein correspond aux mouvements que l'aile exécute dans le sens antéro-postérieur. Le point A et ses homologues correspondent à la position antérieure extrême de l'aile de l'oiseau ; le point P à la position extrême postérieure.

» La courbe formée de traits interrompus indique les hauteurs de l'aile dans l'espace ; le point H correspond au maximum de l'élévation de l'aile, et le point B à son plus grand abaissement.

» Ces deux courbes dans l'espace permettent de construire par points la courbe fermée (*fig.* 2) représentant la trajectoire que l'aile parcourt autour de son centre de mouvement qui est l'articulation de l'épaule.

Fig. 2.

» C'est sur cette trajectoire que nous déterminerons l'inclinaison du plan de l'aile à chaque instant de son parcours elliptique.

» A cet effet, il faut se reporter (*fig.* 1) à la courbe ponctuée, qui est l'expression des torsions de l'aile à différents instants. Les ordonnées positives et négatives de cette courbe correspondent aux tangentes trigonométriques des angles que l'aile fait avec l'horizon (1).

(1) Il faut de l'angle trouvé retrancher algébriquement une valeur constante : l'angle de 30 degrés que l'aile au repos fait avec l'horizon.

Elles permettent donc de tracer sur la *fig.* 2 une série de lignes dont chacune exprime, par son inclinaison sur l'horizon, l'inclinaison que le plan de l'aile présentait à ce même instant de son parcours.

» Le sens du mouvement de l'aile se fait de haut en avant, ce qui sur la *fig.* 2 se compte de haut à droite, de la lettre H aux lettres A*v*.

» L'inclinaison du plan de l'aile semble, à première vue, produite exclusivement par la résistance de l'air. Elle croît, en effet, avec la vitesse de la descente de l'aile, et cesse avec cette descente même. On peut voir qu'au bas de sa course, l'aile revient brusquement à son inclinaison normale, qui est d'environ 30 degrés au-dessous de l'horizon, et remonte en abaissant encore son bord postérieur, ce qui fait qu'elle offre à l'air une très-faible résistance.

» Je me propose d'étudier les changements que présentent la trajectoire de l'aile et l'inclinaison de son plan, quand on fait varier la vitesse du vol et les résistances que l'oiseau doit surmonter. »

MÉMOIRES PRÉSENTÉS.

PHYSIQUE. — *Sur l'emploi des courants secondaires pour accumuler ou transformer les effets de la pile voltaïque.* Mémoire de **M. G. Planté**, présenté par M. Edm. Becquerel. (Extrait par l'auteur.)

(Renvoi à la Section de Physique.)

« Si l'étude des moyens de production de l'électricité voltaïque est aujourd'hui, à juste titre, l'objet de nombreuses investigations, la recherche des moyens d'accumulation ou de transformation des effets d'une source d'électricité donnée, n'offre pas un moindre intérêt; de même qu'en Mécanique, l'étude des appareils destinés à accumuler ou transformer les forces présente une importance non moins grande que celle des machines motrices proprement dites.

» Sans parler des effets remarquables produits par l'induction, les travaux de MM. Grove et Poggendorff ont fourni d'autres solutions du problème de la transformation d'un courant d'une tension donnée, en un courant d'une plus haute tension, à l'aide de la polarisation voltaïque. Les résultats que j'ai obtenus depuis, et les batteries secondaires que j'ai fait connaître (1) ont permis, à la fois, d'*accumuler* ou de *transformer* le travail

(1) *Comptes rendus*, t. L, p. 640, et t. LXVI, p. 1255. — *Ann. de Chimie et de Physique*, 3e série, t. XV, p. 5, 1868.

de la pile, par l'emploi d'un courant secondaire d'une énergie exceptionnelle, développé dans des conditions particulières.

» Mais il importait de rechercher si ces effets peuvent être obtenus sans une trop grande perte de la force primaire employée à charger les batteries secondaires, de connaître, en un mot, le *rendement* de ces appareils considérés comme *récepteurs*, et de perfectionner leurs dispositions, de manière à obtenir le meilleur rendement possible. Tel est l'objet du travail que j'ai l'honneur de présenter à l'Académie. De nouvelles dispositions tendant à améliorer les effets de ces appareils s'y trouvent indiquées.

» Pour obtenir l'accumulation la plus complète possible du travail de la pile dans un couple ou une batterie secondaire à lames de plomb, le couple ou la batterie doivent avoir été préalablement *formés*, c'est-à-dire avoir subi l'action prolongée du courant primaire, tantôt dans un sens, tantôt dans un autre, de manière que la surface des lames puisse s'oxyder ou se réduire facilement sous l'influence d'une action ultérieure. Quand ces conditions sont réalisées, les lames ne présentent aucun dégagement de gaz pendant que la batterie se charge ; l'oxygène est employé tout entier à la peroxydation de la lame positive; l'hydrogène, à la réduction du peroxyde qui s'est développé sur la lame négative pendant une décharge antérieure. Dès que cette double action est produite, les gaz apparaissent, et la batterie se trouve chargée à saturation. Quand les lames du couple ou de la batterie secondaire sont soumises au passage d'un courant pour la première fois, le dégagement de gaz apparaît, il est vrai, presque immédiatement ; l'hydrogène et une partie notable de l'oxygène se dégagent sans produire d'effet utile; mais, avec le temps, la surface du métal se prête à l'accumulation d'une couche plus épaisse de peroxyde; les gaz sont mieux absorbés, de sorte qu'à mesure que la batterie secondaire fonctionne, les effets qu'elle peut produire, lors de la décharge, acquièrent plus de durée. Dans un couple secondaire bien *formé*, d'un demi-mètre carré environ de surface, sur lequel on fait agir deux couples ordinaires de Grove ou de Bunsen, le dégagement de gaz ne commence à apparaître qu'au bout de six à huit minutes. Pendant cet intervalle, le couple secondaire absorbe complétement les deux gaz provenant de l'électrolyse, et semble emmagasiner tout son travail, pour le rendre ensuite, quand on ferme le circuit secondaire.

» Le *rendement* a été mesuré dans ces conditions, en ajoutant, d'une part, à la pile principale, un couple témoin à sulfate de cuivre et à lame de platine préalablement pesée, pour connaître la dépense pendant la charge d'un couple secondaire ; d'autre part, en faisant agir le couple secondaire

chargé sur un voltamètre à lame de platine également pesée, jusqu'à ce que le courant secondaire soit tout à fait anéanti et, par suite, incapable de continuer à produire un dépôt dans le voltamètre. En comparant, d'après les dépôts de cuivre obtenus, le travail rendu par le couple secondaire avec le travail dépensé par la pile primaire pour le charger, on a trouvé que la proportion ou *rendement* était de 88 à 89 pour 100. On a donc là un *récepteur* assez parfait du travail de la pile voltaïque, et on s'explique ainsi l'intensité des effets que ces couples ou batteries secondaires permettent d'obtenir, en dépensant, dans un temps très-court, la force d'un courant primaire recueillie pendant un certain temps.

» La batterie secondaire à lames de plomb, disposée pour produire des effets de tension, offre un rendement inférieur à celui des couples secondaires destinés aux effets de quantité, et moins susceptible d'une mesure exacte, par suite de petites différences inévitables dans la résistance de chacun des couples qui la composent; cet appareil n'en est pas moins un organe de transformation efficace, permettant d'obtenir, après un certain temps d'action d'un courant faible, les effets les plus intenses de la pile voltaïque, tels que la lumière électrique, la combustion des métaux, etc.

» Le rôle que peuvent jouer ces instruments dans l'électricité dynamique est analogue à celui de toutes les machines qui servent, en mécanique, à accumuler ou transformer les forces, telles que le levier, les ressorts, la presse hydraulique, le mouton, etc. Dans cette dernière machine, par exemple, une masse pesante, soulevée peu à peu à une grande hauteur, par une série d'efforts successifs, est ensuite abandonnée à elle-même, et rend, par sa chute, sous forme d'un grand et unique effort, la majeure partie du travail dépensé pendant un certain temps. Dans les batteries secondaires dont il s'agit, la somme des actions chimiques produites par une faible somme d'électricité, distribuée sur un grand nombre de couples, développe une somme de forces électromotrices qui, réunies lors de la fermeture du circuit secondaire, *rendent*, sous forme d'un courant très-intense de courte durée, la somme des actions accumulées pendant tout le temps qu'a duré la charge de la batterie. Les effets de *quantité* correspondent à la chute d'une *masse* très-pesante, soulevée à une petite hauteur; les effets de *tension*, à la chute d'une masse moins pesante, soulevée à une grande hauteur.

» Ces rapprochements montrent, une fois de plus, le lien qui existe entre les diverses manifestations de la force ou du mouvement, en général, et la variété des effets qu'on peut espérer obtenir, par analogie, de la force électrique. »

M. Gorceix adresse, par l'entremise de M. Ch. Sainte-Claire Deville, une Note relative à la composition des gaz qui se détachent de la solfatare de Pouzzoles.

(Commissaires : MM. Boussingault, Ch. Sainte-Claire Deville, Desclaizeaux.)

M. E. de Bouÿn adresse quelques détails complémentaires, au sujet de son système de rails mobiles tournants.

(Renvoi à la Commission précédemment nommée.)

M. Mégnin adresse deux observations cliniques, qui viennent à l'appui des idées émises récemment par M. *Coze*, sur la fragmentation des balles et leur fusion probable dans les plaies d'armes à feu.

M. E. Lantier soumet au jugement de l'Académie un Mémoire imprimé, accompagné d'une Note manuscrite, sur la conservation des membres blessés par les armes à feu perfectionnées.

Ces deux pièces seront transmises, comme documents, à la Commission nommée pour le Mémoire de M. *Coze*, Commission qui se compose de MM. Morin, Phillipps, Larrey, Dupuy de Lôme.

M. Miniac adresse un plan perfectionné de son « ballon dirigeable ».

M. Veillet adresse une Note concernant également un projet de ballon dirigeable.

(Renvoi à la Commission des aérostats.)

M. Anez adresse une nouvelle Note concernant la maladie du *Phylloxera vastatrix*.

(Commissaires précédemment nommés : MM. Dumas, Milne Edwards, Blanchard.)

M. Tellier adresse une nouvelle Communication relative à son système de production du froid, par la vaporisation de l'éther activée par un courant d'air.

Cette Communication est particulièrement relative à l'application de ce système aux appareils qui produisent le froid par la dilatation de l'air préalablement comprimé : en faisant passer cet air sur un bain d'éther, on pourrait utiliser à la fois l'absorption de chaleur due à la dilatation de

l'air, et celle qui serait produite par le passage de l'éther à l'état de vapeur; d'après l'auteur, on pourrait arriver à doubler ainsi le rendement.

(Commissaires précédemment nommés : MM. Becquerel, Dumas, Jamin.)

M. **Tostivint** adresse une nouvelle Note relative à son procédé d'élevage des perdreaux.

(Renvoi à la Section de Zoologie.)

M. **Bouvard** soumet au jugement de l'Académie deux propositions de géométrie élémentaire, qui feraient disparaître les difficultés résultant de l'introduction du *postulatum* d'Euclide.

(Renvoi à la Section de Géométrie.)

M. A. **Gillot** adresse une nouvelle Lettre, concernant son Mémoire sur la carbonisation du bois et l'emploi du combustible dans la métallurgie du fer.

(Commissaires précédemment nommés : MM. Boussingault, Morin, Decaisne, H. Sainte-Claire Deville.)

M[me] **Eyssartier** adresse une Lettre, accompagnée de deux brochures, concernant diverses questions de médecine, et en particulier le choléra.

(Renvoi à la Commission du legs Bréant.)

CORRESPONDANCE.

M. **le Ministre de l'Instruction publique** adresse, pour la bibliothèque de l'Institut, un exemplaire des numéros parus jusqu'ici du « Bulletin des Sciences mathématiques et astronomiques (Bibliothèque des hautes Études) ». Les numéros de cette collection seront adressés, à l'avenir, à mesure qu'ils seront publiés.

M. **le Ministre des Affaires étrangères** transmet à l'Académie une Lettre du gérant du consulat de France à Malaga, annonçant la production d'un tremblement de terre à Malaga, le 28 janvier 1872 :

« Le dimanche 28 janvier, dit M. de Grandmont, à $3^h 1^m$ du soir, une secousse de tremblement de terre s'est fait sentir à Malaga, secousse assez faible, du reste, mais qui n'en a pas moins jeté un moment le trouble et l'effroi dans la population.

» Le mouvement ondulatoire a duré de quatre à six secondes; des bruits souterrains, saccadés comme les éclats du tonnerre, l'ont précédé de quelques instants. L'oscillation s'est faite du nord au sud. Dès le matin, le ciel était gris et nuageux, et il est allé s'obscurcissant de plus en plus, jusqu'au moment de la secousse. Un vent glacial du nord-nord-ouest, auquel Malaga n'est guère habitué, même dans cette saison, n'a cessé de souffler tout le jour. Les oiseaux ont fait entendre des cris de terreur.....

» A Grenade, le tremblement de terre a été sensiblement plus fort qu'à Malaga. La secousse s'est produite de l'est à l'ouest, c'est-à-dire de la Sierra-Elvira, de formation volcanique. Là, dans l'ancienne capitale des Maures, des murs se sont fendus et même écroulés, des cheminées sont tombées, entre autres celle du bâtiment occupé par la garde civile. De pauvres femmes, folles de terreur, se sont précipitées par les fenêtres et par les balcons, croyant, par suite du bris des porcelaines et des verres, et du tintement des sonnettes, à l'écroulement de leur maison. En un moment, les places publiques, les églises, et surtout la cathédrale, ont été remplies d'une foule anxieuse et atterrée. »

M. **Fonssagrives** prie l'Académie de vouloir bien le comprendre parmi les candidats à la place de Correspondant, pour la Section de Médecine et de Chirurgie, place devenue vacante par le décès de M. *Guyon*.

(Renvoi à la Section de Médecine et de Chirurgie.)

AURORES BORÉALES. — *Sur la raie brillante de couleur jaune citron, dans le spectre des aurores boréales*; *par* M. **Piazzi Smyth**. (Analyse d'une Lettre à M. Delaunay.)

« A l'occasion des Communications faites à l'Académie dans sa séance du 5 février dernier, sur la raie brillante de couleur jaune citron, que le spectroscope a fait voir dans l'aurore boréale de la veille, 4 février, M. Piazzi Smyth dit que l'observation de plus de vingt aurores pendant les dix-huit derniers mois lui permet d'affirmer que cette raie existe toujours et qu'elle occupe toujours la même place dans le spectre. Il a reconnu l'entière exactitude de cette dernière assertion, par la comparaison du spectre de l'aurore avec celui de la partie bleue de la flamme des hydrocarbures. Ce dernier spectre présente de belles raies correspondant aux longueurs d'ondes représentées par les nombres 5630, 5579, 5535, 5497, 5460; pour les bien voir, il faut avoir soin de masquer la partie brillante et jaune de la flamme. Or on reconnaît que la raie brillante des aurores boréales ne tombe jamais sur les raies 5630 et 5535, et qu'elle tombe au contraire toujours sur la raie 5579. Bien que cette dernière coïncidence ait été constamment observée par M. Piazzi Smyth, il exprime le vœu qu'elle soit constatée par d'autres observateurs. »

GÉOMÉTRIE. — *Exposition sommaire d'une théorie géométrique de la courbure des surfaces.* Note de **M. A. Mannheim**, présentée par M. Serret.

« Cette exposition a pour base le théorème suivant, que j'ai démontré dans mon Mémoire intitulé : *Étude sur le déplacement d'une figure de forme invariable* (1).

Th. I. — *Lorsqu'une figure de forme invariable se déplace en restant assujettie à quatre conditions, à un instant quelconque, les normales issues de tous les points de cette figure aux surfaces trajectoires de ces points rencontrent deux mêmes droites. Ces deux droites sont deux axes simultanés de rotation pour tous les déplacements que l'on peut faire subir à la figure mobile.*

» Ce théorème et le théorème suivant, qui en est une conséquence, sont les seuls emprunts que je ferai au Mémoire dont je viens de parler.

» Th. II. — *Si, à partir d'un point a sur une surface* (A) *on trace des courbes quelconques, les normalies à cette surface, qui ont ces courbes pour directrices, sont tangentes entre elles en deux points b et c situés sur la normale* A *menée de a à* (A). *Les plans tangents communs à ces normalies sont rectangulaires.*

» La considération des normalies à (A), dont les directrices tracées sur (A) sont tangentes entre elles au point *a*, conduit très-facilement au théorème de Meusnier, comme je l'ai montré dans la Communication que j'ai eu l'honneur de faire à l'Académie dans la séance du 5 février 1872. Cette démonstration du théorème de Meusnier donne en même temps le théorème suivant :

» Th. III. — *Le plan tangent en a, à une normalie à* (A) *dont la directrice est une courbe tracée sur* (A) *à partir de a, est normal à cette normalie au centre de courbure de la section que ce plan détermine dans* (A).

» Le théorème de Meusnier ramène la construction du centre de courbure d'une section oblique à la recherche du centre de courbure de la section normale qui lui est tangente, et le théorème III montre que la construction de ce point est donnée par la solution du problème suivant :

» *On donne une normalie à* (A) *dont la directrice tracée à partir d'un point a sur cette surface a pour tangente at. On demande de construire le point où le plan normal à* (A), *mené par at, est normal à cette normalie.*

» Appelons (T) le plan tangent en *a* à (A), et traçons sur ce plan, à

(1) *Mémoires des Savants étrangers*, t. XX, et *Journal de l'École Polytechnique*, XLIIIe cahier.

partir du point a, an perpendiculairement à at; an est normal à notre normalie au point a. Menons aux points b et c, dont j'ai parlé plus haut, les normales B et C à notre normalie. Nous avons, aux points a, b, c de la génératrice A de notre normalie, les normales à cette surface. Ces trois droites déterminent le paraboloïde formé par les normales à la normalie, qui sont issues de tous les points de A. Pour résoudre le problème, il suffit de chercher la normale qui est dans le plan Aat. Pour cela, du point quelconque n de an, je mène la droite G qui rencontre B et C. Cette droite est une génératrice du paraboloïde des normales; elle est rencontrée par toutes les normales à la normalie issue des points de A.

» La trace de G sur le plan Aat appartient à la normale qui est dans ce plan. La perpendiculaire abaissée de ce point sur A est cette normale; le pied α de cette perpendiculaire sur A est le point où le plan Aat est normal à la normalie. Autrement on peut dire que la projection sur le plan Aan de la droite G rencontre A au point α. Il résulte de ce qui précède que α est le centre de courbure de la section normale à (A) faite par le plan Aat; $a\alpha$ est le rayon de courbure de cette section normale.

» *Cherchons la relation qui existe entre les rayons de courbure des sections normales à* (A) *au point* a.

» Remarquons d'abord que toutes les normalies dont les directrices sont tracées à partir de a sur (A) ont pour normales communes B et C. La construction précédente s'applique donc toujours en faisant usage des mêmes droites B et C. Modifions cette construction : faisons tourner la figure que nous avons considérée autour de la normale A d'un angle de 90 degrés; an vient se confondre avec at, B vient en B_1, C en C_1 et G vient en G_1, qui est maintenant une droite issue d'un point quelconque t de at, et qui rencontre B_1 et C_1. Nous voyons maintenant que :

» Th. IV. — *La projection de* G_1 *sur le plan normal* Aat *rencontre* A *au centre de courbure* α *de la section faite dans* (A) *par ce plan.*

» Menons au point t une droite perpendiculaire à G_1 et rencontrant A. Appelons o ce point de rencontre. Considérons l'angle droit (ot, G_1), et supposons que, le point t restant toujours sur le plan (T), le côté de l'angle droit ot passe toujours par le point o, tandis que l'autre côté G_1 s'appuie toujours sur B_1 et C_1. Le point t décrit sur le plan (T) une certaine courbe I. Quelle que soit la position du point t sur cette courbe, le centre de courbure α de la section faite dans (A) par le plan normal Aat s'obtiendra, comme nous l'avons vu, en projetant G_1 sur ce plan. Cette projection n'est autre que la droite $t\alpha$ tracée sur ce plan à partir du point t perpendicu-

lairement à *to*. Dans le triangle rectangle $ot\alpha$, on a

$$at^2 = ao \times a\alpha.$$

» Puisque *ao* est constant, nous voyons que :

» Th. V. — *Les rayons de courbure des sections normales à* (A) *au point a sont proportionnels au carré des rayons vecteurs tels que at de la courbe* I.

» Je dis que :

» Th. VI. — *La courbe* I *est une section conique.*

» Pour le faire voir, je remarque que cette courbe est l'intersection du plan (T) et de la surface lieu des points tels que *t*, que l'on obtient en projetant un point fixe *o* sur toutes les droites telles que G_1, qui s'appuient sur deux droites B_1, C_1 parallèles au plan (T). Cette surface est du troisième ordre, puisque sur la droite G_1 il n'y a que trois points de cette surface : *t* et les deux points où G_1 rencontre B_1, C_1. Mais cette surface contient la droite de l'infini qui s'appuie sur B_1, C_1; ses sections par des plans parallèles à ces deux droites sont donc des sections coniques. I, étant l'une de ces sections, est donc une conique. La construction du point α montre que le rayon de courbure $a\alpha$ est maximum lorsque α vient en *b*, et qu'il devient minimum lorsque α vient en *c*; *b* et *c* sont les *centres de courbure principaux de* (A) situés sur A; *ab*, *ac* sont les *rayons de courbure principaux*, et les plans normaux en *a*, dont les centres de courbure sont en ces points, sont les *plans des sections principales*. Ces plans sont (AB_1), (AC_1), ou, ce qui revient au même, (AB), (AC).

» Les rayons vecteurs de I devenant maximum et minimum en même temps que les rayons de courbure des sections normales auxquels ils correspondent, on voit que :

» Th. VII. — *Les axes de* I *sont les traces sur* (T) *des plans des sections principales de* (A) *en a.*

» I est appelé *indicatrice*. En rapprochant le th. VII du th. II nous voyons que les directrices des normalies développables sont tangentes en *a* aux axes de l'indicatrice en ce point. De là, on a tout de suite ce qui est relatif aux *deux systèmes de lignes de courbure de* (A). Remarquons aussi que :

» Th. VIII. — *Les carrés des demi-axes de l'indicatrice sont proportionnels aux rayons de courbure principaux.*

» Reprenons la droite G_1 qui part du point *t* et qui s'appuie sur B_1, C_1. Les points de rencontre de ces deux droites avec G_1 et le point *t* déterminent sur G_1 des segments qui sont toujours proportionnels à *ab* et *ac*, quelle

que soit la position de t sur I, puisque B_1 et C_1 sont parallèles au plan (T). En projetant G_1 sur le plan (T), cette proportionnalité se conservera. On voit ainsi que la projection de G_1 sur (T) est rencontrée par les axes de l'indicatrice I en deux points qui déterminent avec t des segments proportionnels aux carrés des demi-axes de cette indicatrice. Donc :

» TH. IX. — *La projection de* G_1 *sur* (T) *est la normale en* t *à* I.

» Mais la projection de G_1 sur (T) est perpendiculaire à la projection de G sur le même plan ; donc :

» TH. X. — G *se projette sur le plan tangent* (T) *suivant une droite parallèle à la tangente en t à l'indicatrice, c'est-à-dire une droite conjuguée de la direction at.*

» Par une première projection de G nous avons obtenu le centre de courbure de la section normale menée par at. Nous voyons maintenant qu'en projetant la même droite G sur le plan (T) nous avons la direction conjuguée de at. *Les droites* B *et* C *qui suffisent pour ces constructions peuvent donc être substituées à l'indicatrice de M. Dupin.*

» Revenons au paraboloïde des normales à la normalie à (S) que nous avons déjà considérée. L'un des plans directeurs de ce paraboloïde est le plan central de cette normalie. La trace de ce plan central sur (T) est donc parallèle à la projection de G sur le même plan.

» D'après cela et d'après le théorème X, nous concluons que :

» TH. XI. — *La tangente at à la directrice d'une normalie à* (S) *et la trace du plan central de cette normalie, pour la génératrice* A, *sur le plan tangent en a à* (S), *sont deux diamètres conjugués de l'indicatrice en a.*

» Prenons sur (S) un point a_1, infiniment voisin de a dans la direction at, et menons en ce point à (S) la normale A_1. Les plans tangents en a et a_1 à (S) se coupent suivant une droite parallèle à la perpendiculaire commune à A et A_1. Cette perpendiculaire est dans le plan central mené par A à l'élément de normalie formé par A et A_1 ; elle est parallèle à la trace de ce plan central sur le plan tangent en a à (S). Ainsi *les plans tangents aux deux points infiniment voisins* a *et* a_1 *se coupent suivant une droite parallèle à cette trace*, c'est-à-dire, d'après le théorème précédent, *conjuguée de la direction* aa_1. Nous retrouvons ainsi *le théorème des tangentes conjuguées.*

» Je ferai remarquer, en terminant, qu'indépendamment de l'exposition nouvelle que je viens de donner sommairement de la théorie de la courbure des surfaces, les théorèmes IV et X sont nouveaux et méritent d'être signalés. »

GÉOMÉTRIE. — *Note sur quelques relations entre les quantités angulaires des polyèdres convexes; par* **M. L. Lalanne.** (Extrait d'une Lettre adressée à M. Chasles.)

« Il y a déjà une douzaine d'années que l'érudit et regretté Prouhet attira l'attention de l'Académie, à propos de la publication récente des Œuvres inédites de Descartes, par M. Foucher de Careil, sur une proposition énoncée sans démonstration par le grand philosophe, proposition qui établit une analogie, non remarquée jusque alors, entre la théorie des polygones et celle des polyèdres. Cette proposition consiste en ce que, dans un polyèdre convexe, la somme des suppléments des angles solides est égale à huit angles solides droits. Elle résulte de l'intuition même des angles solides supplémentaires, lorsqu'on leur donne un sommet commun pris dans l'intérieur du polyèdre. De la considération de ces mêmes angles solides supplémentaires, Prouhet conclut aussi très-simplement que la somme des angles plans des faces d'un polyèdre est égale au quadruple, diminué de huit, du nombre des sommets, l'angle droit étant pris pour unité.

» Cette Communication ne passa pas inaperçue, et M. J. Bertrand, membre de l'Académie, en fit l'objet d'un rapprochement imprévu entre la proposition de Descartes et la belle conception de Gauss, relative à la *courbure totale* des surfaces (*Comptes rendus*, t. LX, p. 781).

» Ces antécédents permettent de croire que l'Académie n'accueillera pas sans intérêt des considérations qui, tout élémentaires qu'elles soient, sont de nature à étendre les analogies connues entre la théorie des polygones et celle des polyèdres, analogies que je formule en trois propositions nouvelles.

» Avant d'énoncer ces propositions, dans lesquelles entrent à la fois des trièdres et des dièdres, je dirai que je prends, suivant l'usage, le trièdre trirectangle qui occupe la huitième partie de l'espace autour d'un point, pour unité parmi les trièdres; et que, pour les dièdres, je prends pour unité non pas le dièdre rectangle, comme on le fait ordinairement, mais seulement la moitié de celui-ci; de sorte que, les trièdres et les dièdres étant rapportés respectivement à des unités de même espèce, il y a, par le fait, une unité commune pour tous, le trièdre trirectangle.

» Cela posé :

» 1° *Dans tout polyèdre convexe, l'excès de la somme des dièdres sur la somme des angles solides est égal à l'excès du quadruple du nombre des faces sur* 8; ou,

d'une manière symbolique,

$$V_d - V_s = 4F - 8.$$

» Quelques applications feront mieux saisir le sens de cet énoncé et serviront en même temps de vérification.

» *Hexaèdre prismatique droit à base carrée.* On a

$$V_d = 2 \times 12, \quad V_s = 8, \quad F = 6;$$

d'où

$$2 \times 12 - 8 = 4 \times 6 - 8.$$

» *Prisme droit à base d'hexagone régulier :*

$$V_d = 2 \times 12 + \frac{8}{3} \times 6 = 40,\ V_s = \frac{4}{3} \times 12 = 16,\ F = 8,\ 40 - 16 = 4 \times 8 - 8.$$

» *Dodécaèdre rhomboïdal :*

$$V_d = \frac{8}{3} \times 24 = 64,\ V_s = 2 \times 8 + \frac{4}{3} \times 6 = 24,\ F = 12,\ 64 - 24 = 4 \times 12 - 8.$$

» 2° *La somme des angles solides et des suppléments des dièdres est égale au quadruple du nombre des sommets* (*) :

$$V_s + V_{d'} = 4S.$$

» 3° *La somme des angles solides et des suppléments des dièdres* (rapportés au trièdre trirectangle) *est égale à la somme des angles plans des faces* (rapportés à l'angle droit) *augmentée de* 8 :

$$V_s + V_{d'} = \Sigma\alpha + 8.$$

» Cette dernière proposition a cela de remarquable qu'elle établit une relation directe entre les quantités angulaires des trois espèces : angles plans, dièdres, angles solides.

» L'application au dodécaèdre rhomboïdal donne

$$V_s = 24, \quad V_{d'} = \frac{4}{3} \times 24 = 32, \quad \Sigma\alpha = 4 \times 12;$$

d'où

$$24 + 32 = 4 \times 12 + 8. \text{ »}$$

(*) M. l'ingénieur Philbert était parvenu directement à cette seconde proposition, sur la simple annonce que je lui avais faite d'une relation existant entre les angles solides et les dièdres.

GÉOMÉTRIE. — *Détermination des caractéristiques des systèmes élémentaires de cubiques.* Note de M. **Zeuthen**, présentée par M. Chasles.

CUBIQUES DOUÉES D'UN POINT DOUBLE.

« 1. *Notations.* — Une cubique à point double est de la classe 4 et a trois tangentes d'inflexion. Les cubiques de cette espèce qui satisfont à *sept* autres conditions forment un système (μ, μ'). Désignons par b l'ordre du lieu des points doubles, par ν la classe de l'enveloppe des tangentes à ces points, par c' la classe de l'enveloppe des tangentes d'inflexion, et par r' l'ordre du lieu des points d'inflexion.

» 2. *Courbes singulières.* — 1° Le point double peut devenir cuspidal. La courbe singulière qu'on obtient alors aura un sommet au point cuspidal.

» 2° Une courbe du système peut se réduire à une conique et une droite. Regardée comme enveloppe de tangentes, elle sera composée de la conique et de l'un des points d'intersection pris deux fois. Ce point sera un sommet double, pendant que l'autre point d'intersection n'est que le point double de cette courbe particulière du système. La cubique composée peut satisfaire à la condition de toucher une courbe donnée en ayant un de ses deux points singuliers sur elle : alors il n'est pas douteux que ce point soit le sommet double, l'autre le point double. En d'autres cas, elle peut satisfaire aux conditions données, quel que soit celui des deux points singuliers qu'on regarde comme sommet. Alors on aura deux courbes singulières : regardées comme lieux de points, elles coïncident; mais, regardées comme enveloppes, elles sont différentes.

» Un système contient, en général, des courbes singulières de ces deux espèces; car elles dépendent de sept conditions. Nous en désignerons les nombres par γ et par ϖ respectivement.

» Les singularités suivantes : une courbe composée d'une droite double et d'une droite simple, ayant un sommet double au point d'intersection des deux droites et deux sommets simples à deux autres points de la droite double, et une droite triple douée de quatre sommets, ne peuvent satisfaire qu'à six conditions de contact indépendantes entre elles. On n'en trouve donc pas ordinairement dans un système déterminé par *sept conditions de contact.*

» Nous ne nous occuperons, dans ce qui suit, que de systèmes dont les seules singularités sont celles dont nous avons désigné les nombres par γ et ϖ.

» 3. *Formules.* — On trouve, au moyen du principe de correspondance,

(1) $$4\mu = \mu' + 2b,$$

(2) $$6\mu' = \mu + \varpi + 3c',$$

(3) $$\nu = b + \mu,$$

(4) $$\nu + c' = \mu' + 3\mu,$$

(5) $$\gamma = 2\nu - 2b,$$

d'où

(6) $$\gamma = 2\mu \quad \text{ou} \quad \mu = \tfrac{1}{2}\gamma,$$

(7) $$2\varpi = 3\mu' - 2\mu \quad \text{ou} \quad \mu' = \tfrac{1}{3}(2\varpi + \gamma).$$

» 4. *Détermination des caractéristiques des systèmes élémentaires.* — Les déterminations de γ et de ϖ sont des problèmes plus simples que ceux de μ et de μ'. On peut donc se servir des formules (6) et (7) pour trouver μ et μ'.

» γ et ϖ sont des nombres théoriques où une seule courbe singulière peut être comptée plusieurs fois. Dans les systèmes déterminés par les conditions de toucher sept courbes données, qui peuvent se réduire à des points et à des droites, une cubique à point cuspidal n'est comptée qu'*une seule fois* dans le nombre γ. Une cubique composée d'une conique et d'une droite sera, dans les mêmes systèmes, comptée 2^α fois, si le sommet double se trouve sur α des courbes données, et si le contact avec ces α courbes est dû à cette circonstance (*). On aura donc, en désignant par ϖ_0, ϖ_1, ϖ_2 les nombres respectifs des cubiques composées pour lesquelles $\alpha = 0, 1, 2$,

$$\varpi = \varpi_0 + 2\varpi_1 + 4\varpi_2.$$

» Regardons, pour prendre un exemple, le système $(3p, 4l)$. On y aura

$$\gamma = 168 + 4.168 + \frac{4.3}{2}20 = 960,$$

où les trois termes correspondent aux cas où le point cuspidal se trouve sur 0,1 ou 2 des tangentes données (**). On trouve encore

$$\varpi_0 = 2.3.2, \quad \varpi_1 = 4.3.4.2 + 4.3.4, \quad \varpi_2 = \frac{4.3}{2}3.4,$$

(*) La même règle a lieu pour les coniques d'un système qui ont un sommet double (point double). Comparer les parties II et III de mon Mémoire sur les systèmes de coniques (*Nouvelles Annales de Mathématiques*, 1866). Suivant une remarque que nous avons déjà faite, les ϖ_0 cubiques singulières, regardées comme lieux de points, coïncident deux à deux.

(**) *Voir* ma Communication précédente (*Comptes rendus*, p. 523). On a dans le système

d'où

$$\varpi = 588.$$

Les formules (6) et (7) donnent ensuite

$$\mu = 480, \quad \mu' = 712.$$

» La détermination des caractéristiques des autres systèmes élémentaires se fait de la même manière. Le nombre $N(\alpha p, \beta l)$ de cubiques à points doubles passant par α points donnés et tangentes à β droites données $(\alpha + \beta = 8)$ sera, à l'exception des cas où $\alpha = 0$ ou $\beta = 0$, caractéristiques de deux systèmes différents. Les deux manières différentes qui servent ainsi à déterminer un même nombre donnent une vérification des valeurs des coefficients que nous avons attribués aux différentes espèces de courbes composées (*). On trouve

pour $\alpha =$	8,	7,	6,	5,	4,	3,	2,	1,	0:
$N(\alpha p, \beta l) =$	12,	36,	100,	240,	480,	712,	756,	600,	400.

» On peut aussi trouver les nombres γ et ϖ qui correspondent à des systèmes de cubiques à point double, qui touchent des courbes données en des points donnés et d'autres courbes données en des points non donnés. Les règles indiquées pour la distribution des cubiques composées en ϖ_0, ϖ_1 et ϖ_2 restent alors en vigueur (**). On trouve ainsi, en désignant par (pl) la condition d'un contact en un point donné,

pour $\alpha =$	6,	5,	4,	3,	2,	1,	0:
$N[\alpha p, (6-\alpha)l, (pl)] =$	10,	28,	68,	136,	196,	200,	148;
$N[\alpha p, (4-\alpha)l, 2(pl)] =$			8,	20,	40,	56,	56;
$N[\alpha p, (2-\alpha)l, 3(pl)] =$					6,	12,	16.

» 5. *Applications.* — Le nombre des cubiques à point double qui sont tangentes à huit courbes données des ordres $n_1, n_2, \ldots, n_8$ et des classes

---

$(3p, 3l)$ de cubiques à points cuspidaux $\mu' = 168$, $c = 168$, et la dernière expression de l'article donne le nombre 20.

(*) Quand même ces coefficients résultent aussi de considérations *à priori*, il est utile, à cause de la difficulté de ces considérations, d'en avoir des vérifications. Celles que je viens de nommer ne sont pas les seules dont j'aie fait usage.

(**) Comparer la partie VI de mon Mémoire sur le système de coniques.

$n'_1, n'_2, \ldots, n'_8$, est

$$12\Sigma_0 + 36\Sigma_1 + 100\Sigma_2 + 240\Sigma_3 + 480\Sigma_4 + 712\Sigma_5 + 756\Sigma_6 + 600\Sigma_7 + 400\Sigma_8$$

$$(\Sigma_i \text{ étant} = n_1 n_2 \ldots n_i n'_{i+1} \ldots n'_8 + \text{etc.}).$$

» Si nous désignons par (bl) la condition que le point double se trouve sur une droite donnée, la formule (1) nous donne,

$$\text{pour } \alpha = 7,\ 6,\ 5,\ 4,\ 3,\ 2,\ 1,\ 0:$$
$$N[\alpha p, (7-\alpha)l, (bl)] = 6,\ 22,\ 80,\ 240,\ 604,\ 1064,\ 1212,\ 1000.$$

» En désignant par (bp) la condition que le point double se trouve dans un point donné, on a la formule

$$N[(\alpha+2)p, (6-\alpha)l] = N[\alpha p, (6-\alpha)l, (pl)] + 2N[\alpha p, (6-\alpha)l, (bp)].$$

» On trouve au moyen de cette formule,

$$\text{pour } \alpha = 6,\ 5,\ 4,\ 3,\ 2,\ 1,\ 0:$$
$$N[\alpha p, (6-\alpha)l, (bp)] = 1,\ 4,\ 16,\ 52,\ 142,\ 256,\ 304.$$

» Les systèmes qui ont ces derniers nombres pour caractéristiques, ainsi que les systèmes analogues de cubiques à points cuspidaux, fournissent d'utiles exemples de systèmes où il y a des courbes à branches multiples. »

HYDRAULIQUE. — *Sur la théorie des roues hydrauliques : théorie de la roue à réaction ; par* **M. DE PAMBOUR.**

« Dans une Note présentée à l'Académie dans sa séance du 12 février, nous avons donné la formule de l'effet utile de la roue à réaction. Cette formule est fondée sur la quantité d'eau totale qui est fournie à la roue et dépensée par elle dans l'unité de temps. Si cette quantité n'est pas donnée *à priori*, on la détermine, d'après la hauteur de chute et la vitesse de la roue, au moyen des formules que nous avons fait connaître (*Comptes rendus*, t. LXIV, p. 352, et t. LXVII, p. 292). Il ne peut donc y avoir aucune difficulté à cet égard.

» Mais nous devons maintenant revenir sur deux points, que nous avons réservés jusqu'ici et qui demandent une explication. Le premier consiste en ce que la force centrifuge de la *roue* ne paraît pas représentée dans la formule : cependant elle s'y trouve réellement.

» S'il n'y avait pas de force centrifuge, il est clair que l'eau, en sortant du réservoir, n'aurait de vitesse que celle qui est due à la hauteur de

chute H du réservoir à la roue; et en appelant U_0 cette vitesse, P_0 le volume d'eau correspondant, et O l'aire de l'orifice de sortie du réservoir, on aurait

$$U_0 = \sqrt{2gH} \quad \text{et} \quad P_0 = OU_0 = O\sqrt{2gH}.$$

Mais il y a une force centrifuge, produite par la rotation de la roue, et dont l'effet est bien connu. Avec les notations adoptées précédemment, cet effet a pour expression

$$\frac{1}{2}\frac{P}{g}(v^2 - v''^2).$$

De plus, on sait que cette force n'exerce de pression que dans le sens normal à la circonférence de la roue, et qu'ainsi elle ne peut modifier en rien le mouvement de rotation. Toute son action se produit dans le sens du rayon ou des canaux de la roue. A l'instant où l'eau qui a parcouru les canaux arrive à l'orifice de sortie, elle s'en échappe avec une très-grande vitesse, due en grande partie à la force centrifuge. D'après le principe de la continuité des liquides, cette vitesse se communique à l'eau du réservoir, et y produit une aspiration qui augmente considérablement la quantité d'eau fournie à la roue, et par suite ses effets utiles. C'est de cette façon que l'action de la force centrifuge de la roue se fait sentir. Mais, dans ces circonstances, la vitesse de l'eau, à l'entrée de la roue, n'est plus ce qu'elle était auparavant : elle est donnée par la formule

$$U^2 = 2gH + (v^2 - v''^2);$$

et, en appelant P_1 le volume d'eau correspondant, celui-ci devient

$$P_1 = O\sqrt{2gH + (v^2 - v''^2)}.$$

» On y trouve donc l'effet de la force centrifuge de la roue, visiblement exprimé, et la quantité P_1 représente toute l'action de cette force. Le terme $(v^2 - v''^2)$, qui la caractérise, se trouve ici réuni à la hauteur de chute du réservoir, pour former la dépense d'eau totale; et dans les formules que nous avons données pour déterminer la dépense d'eau des turbines, il se retrouve encore. En employant la dépense d'eau *totale* pour faire le calcul des effets produits, au lieu d'employer seulement celle qui résulte de la hauteur H, on tient donc compte, par le fait, de la force centrifuge de la roue; et l'importance de son action est suffisamment appréciée, puisque la quantité P_1 ou P, qui la représente, figure dans tous les termes de la formule, hors les frottements. Il eût été facile de remplacer P dans la formule

par sa valeur développée; mais c'eût été compliquer cette formule sans avantage. C'est pourquoi nous avons préféré nous en occuper séparément.

» Le second point, sur lequel nous voulons donner quelques explications, consiste dans le mode de calcul que nous avons suivi pour passer de la vitesse absolue de l'eau motrice à sa vitesse relative sur la roue.

» On sait que, pour faire ce calcul, on croit nécessaire de déterminer d'abord la vitesse relative u de l'eau qui entre dans la roue, par le principe que cette vitesse est la résultante de la vitesse de sortie du réservoir U et de la vitesse de la roue v'', prise en sens contraire; ou, ce qui revient au même, que la vitesse U doit être la résultante de la vitesse u et de la vitesse v'', prise dans son sens naturel, c'est-à-dire, d'après la seconde condition, que, α étant l'angle des vitesses U et v'', il faut d'abord calculer u par la formule connue

$$u^2 = \mathrm{U}^2 + v''^2 - 2\mathrm{U}v''\cos\alpha.$$

Ensuite on prend la vitesse u pour base du raisonnement, et en nommant β l'angle de cette vitesse avec la tangente à la roue, angle qu'il faut calculer aussi, on en conclut que la vitesse appliquée normalement aux aubes et celle qui agit dans le sens des canaux sont

$$u\cos\beta \quad \text{et} \quad u\sin\beta.$$

Ce raisonnement est exact, mais nous croyons qu'on peut se dispenser d'en faire le calcul. En effet, en rapportant immédiatement la vitesse U à la direction du mouvement de rotation, on a d'abord la vitesse absolue, appliquée normalement aux aubes, savoir

$$\mathrm{U}\cos\alpha;$$

et, en en retranchant la vitesse v'', qui agit dans le même sens, on passe, sans calcul, de la vitesse absolue à la vitesse relative. On a donc, pour la composante de cette vitesse, dans le sens normal aux aubes,

$$\mathrm{U}\cos\alpha - v'';$$

et, pour la composante dans le sens des canaux,

$$\mathrm{U}\sin\alpha.$$

Et ce sont bien les vitesses cherchées; car si l'on trace le parallélogramme des forces pour trouver u, on reconnaîtra, à simple vue, qu'on a

$$\mathrm{U}\cos\alpha - v'' = u\cos\beta \quad \text{et} \quad \mathrm{U}\sin\alpha = u\sin\beta.$$

Enfin, si l'on veut en faire la vérification par le calcul, on aura la con-

viction qu'il y a identité complète entre les deux résultats. Nous évitons donc ainsi un calcul inutile et très-long, puisqu'il exige qu'on passe plusieurs fois des nombres aux logarithmes et des logarithmes aux nombres.

» On trouve la même facilité pour passer ensuite de la vitesse relative sur la roue à la vitesse absolue dans l'espace, lorsque l'eau sort des canaux en faisant un angle φ avec la tangente à la roue. En effet, dans ce cas, en appelant U' la résultante des deux forces u' et v, et φ' l'angle de cette résultante avec la vitesse v, on obtient, soit par le parallélogramme, soit par le calcul,

$$U' \cos\varphi' = v - u' \cos\varphi \quad \text{et} \quad U' \sin\varphi' = u' \sin\varphi.$$

On peut donc se dispenser de calculer U' et φ', puisqu'on peut les remplacer sans calcul par des termes en fonction de u' et de φ; à moins, cependant, qu'on ait besoin de connaître U' séparé des sinus ou cosinus des angles, comme cela a lieu pour les turbines.

» Le calcul, pour avoir la vitesse effective de l'eau, peut encore s'exprimer sous une autre forme. En énonçant que la force d'impulsion ne peut avoir d'effet que par l'excès de sa vitesse sur celle de la roue, c'est-à-dire que la vitesse effective est la différence entre la vitesse d'impulsion et la vitesse de la roue, on remplit la première condition fixée plus haut, savoir que la vitesse relative doit être la résultante de la force d'impulsion et de la vitesse de la roue prise en sens contraire. En effet, ces deux vitesses agissant dans le même sens, leur résultante n'est autre que leur différence. On peut donc se contenter de cette condition, sans entrer dans d'autres détails, et le calcul est exact.

» Les considérations que nous venons de présenter nous ont paru nécessaires, parce que les opérations dont il s'agit, mal comprises, devenaient des objections contre notre théorie, tandis qu'elles sont des simplifications très-utiles; or la simplicité nous paraît d'une importance majeure pour des calculs qui doivent passer dans la pratique. »

PHYSIQUE. — *Sur les forces électromotrices développées au contact des métaux et des liquides inactifs.* Note de **M. J.-M. Gaugain**, présentée par M. H. Sainte-Claire Deville.

« Je ne m'occuperai dans cette Note que d'un seul couple, de celui qui est formé de deux lames de platine plongées dans l'eau distillée. Dans mes précédentes expériences, j'avais opéré sur le platine du commerce; dans la nouvelle série de recherches dont je vais rendre compte, j'ai employé

exclusivement des lames de platine fondu que M. Matthey de Londres a eu l'obligeance de mettre à ma disposition. Je considérerai comme l'état normal d'une lame de platine l'état dans lequel elle se trouve lorsqu'elle a été polie avec le papier à l'émeri et qu'elle a ensuite séjourné pendant quarante-huit heures ou davantage dans l'eau distillée.

» Il est bien clair que deux lames à l'état normal ne doivent pas développer de courant lorsqu'on les met en communication l'une avec l'autre par l'intermédiaire d'un galvanomètre; mais si l'on retire l'une des lames de l'eau, qu'on la frotte avec un corps mou et qu'on la plonge de nouveau dans l'eau, elle est négative, au moment de l'immersion, par rapport à la seconde lame qui n'a pas quitté le liquide. La force électromotrice varie d'ailleurs avec le nombre des frictions et n'atteint sa valeur maxima qu'après un frottement longtemps prolongé. Cette valeur maxima dépend elle-même de la nature du corps dont on se sert pour frotter le métal. Ainsi, dans une série d'expériences, j'ai trouvé qu'il était impossible d'obtenir une force supérieure à 30 unités lorsqu'on frottait avec du papier Joseph, tandis que la force s'élevait à 40 environ lorsqu'on employait un linge mouillé d'eau distillée, et enfin à 56 lorsque, après avoir longtemps frotté avec un linge mouillé, on essuyait avec un linge sec. Un linge mouillé d'alcool donne sensiblement les mêmes résultats qu'un linge trempé dans l'eau distillée. L'unité de force qui me sert de mesure est toujours la force électromotrice du couple thermo-électrique $\left(\frac{\text{B}i - \text{C}u}{0^\circ - 100^\circ}\right)$.

» Jusqu'à présent, j'ai supposé que la lame de platine, après avoir été frottée, était réimmergée sur-le-champ dans l'eau distillée. Lorsque la lame frottée reste exposée à l'air pendant un certain temps avant d'être plongée de nouveau, elle est encore négative au moment de l'immersion, mais la valeur de la force électromotrice est moindre que dans le cas où la lame est plongée sur-le-champ après avoir été frottée, et la diminution que subit cette force dépend de l'état hygrométrique de l'air et aussi, entre certaines limites, du temps pendant lequel la lame est soumise à son action.

» Si l'on transporte la lame frottée dans un flacon contenant de l'air desséché au moyen de la potasse caustique, et qu'on l'y laisse séjourner pendant vingt-quatre heures avant de la réimmerger dans l'eau distillée, la diminution de la force est de 8 à 10 unités; elle n'est pas notablement plus grande après une exposition à l'air de plus longue durée. Lorsque la lame de platine, après avoir été frottée, séjourne vingt-quatre heures dans l'air saturé d'humidité avant d'être réimmergée, la diminution de la force est

d'une vingtaine d'unités. Je n'ai pas obtenu une diminution plus grande en prolongeant plus longtemps l'exposition à l'air. Comme on le voit, la modification que le frottement fait subir au platine ne se détruit que partiellement sous l'influence de l'air, même lorsque celui-ci est saturé d'humidité.

» Après avoir constaté la valeur de la force électromotrice au moment de l'immersion de la lame frottée, j'ai aussi déterminé la marche du décroissement à partir de l'immersion. D'abord, la force diminue très-rapidement : en une dizaine de minutes, elle est réduite à la moitié de sa valeur initiale; mais bientôt le décroissement se ralentit, et il finit par devenir extrêmement lent; de telle sorte qu'il faut souvent sept ou huit jours pour que la lame frottée ne donne plus de courant avec la lame normale.

» Lorsqu'on recherche l'origine des forces électromotrices qui sont mises en jeu dans les circonstances que je viens d'indiquer, l'idée qui se présente le plus naturellement à l'esprit est que le corps frottant laisse à la surface du métal un dépôt invisible. Cette explication semble justifiée par les observations suivantes : si l'on plonge dans l'eau distillée une lame de platine qui vient d'être polie avec le papier à l'émeri, qu'on la retire et qu'on examine sa surface, en la tenant horizontalement, on trouve que cette surface est à peu près uniformément recouverte de liquide. Si l'on frotte la même lame avec un linge sec ou mouillé, qu'on la plonge dans l'eau pendant quelques instants, qu'on la retire et qu'on l'examine de nouveau, on trouve qu'elle ne se mouille plus; le liquide entraîné se réunit rapidement pour former des gouttes arrondies. Lorsque l'immersion est prolongée, la lame finit par se mouiller complétement, mais cela n'arrive d'ordinaire qu'au bout de plusieurs jours. Pour rendre à la lame frottée la faculté de se mouiller instantanément, il suffit de chauffer pendant quelques instants dans la flamme d'une lampe à alcool; on obtient le même résultat en mettant, pendant quelques minutes, la lame frottée dans une étuve, dont la température est seulement de 200 degrés. On peut ajouter qu'une lame qui a perdu, sous l'influence du frottement, la faculté de se mouiller dans l'eau distillée continue à être instantanément mouillée par l'alcool et il ne paraît pas douteux, d'ailleurs, que tous les métaux polis se conduiraient de la même manière que le platine. Comme on le voit, les choses se passent absolument comme si le frottement laissait à la surface du métal un dépôt gras susceptible d'être détruit par la chaleur; mais je m'empresse d'ajouter pourtant que les faits énoncés peuvent recevoir une autre interprétation.

» Les faits que j'ai exposés en commençant se rattachent sans nul doute

à d'autres faits que M. Becquerel a fait connaître depuis longtemps. Comme on le sait, le savant physicien a constaté que, si l'on prend deux lames de platine identiques, plongées, depuis quelque temps, dans de l'eau distillée, que l'on retire l'une d'elles de l'eau, et qu'après l'avoir exposée à l'air on la réimmerge de nouveau, elle est négative au moment de son immersion, par rapport à la seconde lame qui n'a pas quitté le liquide. Mais il faut remarquer que la force électromotrice développée lorsqu'on procède comme je viens de l'indiquer en dernier lieu est beaucoup moindre que celle qui est obtenue quand on fait intervenir le frottement. Dans le cas où la lame est simplement retirée de l'eau et soumise pendant quelques instants à l'action de l'air, la valeur de la force est au plus de deux unités. Cette valeur ne s'élève pas au delà de cinq à six unités lorsque la lame, avant d'être immergée, séjourne dans l'air saturé d'humidité même pendant un temps très-long, et enfin elle ne dépasse pas dix unités dans le cas même où la lame reste, pendant plusieurs jours, exposée à l'action de l'air desséché au moyen de la potasse caustique. Il est donc hors de doute que le frottement contribue pour une part très-notable au développement de la force électromotrice obtenue dans les expériences que j'ai citées d'abord.

» Pour la mesure de toutes les forces électromotrices mentionnées dans ce travail, je me suis servi, comme dans toutes mes recherches antérieures, de la méthode de l'opposition. Cette mesure n'offre point de difficultés; seulement, comme la résistance de l'eau distillée est très-grande, il est indispensable d'employer un galvanomètre à très-long fil. J'ai fait usage d'un excellent instrument de Ruhmkorff, que l'Association scientifique de France a bien voulu mettre à ma disposition. »

CHIMIE ORGANIQUE. — *Sur deux nouveaux isomères du bromure de propylène.* Note de M. E. **Reboul**, présentée par M. Wurtz.

« Dans une précédente Communication (1), j'ai montré que l'éthylène et le propylène monobromés, en s'unissant à l'acide bromhydrique, donnaient soit les bromures d'éthylène et de propylène, soit leurs isomères, les bromhydrates d'éthylène et de propylène monobromés, suivant l'état de concentration de la solution aqueuse bromhydrique employée. Si cette solution est saturée à + 6 degrés, on n'obtient sensiblement que les bromures, tandis qu'en opérant avec cette même solution, étendue du tiers de son

(1) *Comptes rendus*, t. LXX, février 1870.

volume d'eau, on n'a que les bromhydrates. Pour des états de concentration intermédiaires, les bromures et les bromhydrates se produisent simultanément, et leur proportion relative varie suivant que cet état de concentration s'approche plus ou moins de la limite supérieure indiquée.

» Ces recherches m'ont tout naturellement amené à examiner le mode d'action de l'acide bromhydrique sur le bromure d'allyle, isomérique, comme on sait, avec le propylène monobromé. Le bromure d'allyle sur lequel j'ai opéré a été d'ailleurs obtenu par l'éthérification, au moyen de l'acide bromhydrique, de l'alcool allylique, préparé par la méthode de M. Tollens. Comme l'a indiqué ce chimiste, ce bromure bout à 70-71 degrés.

» L'acide bromhydrique en solution très-concentrée (saturée à + 6 degrés) s'y unit aisément, même à froid, et le transforme en un mélange de deux isomères qui passe à la distillation de 142 à 168 degrés. En appliquant à ce mélange le système des distillations fractionnées, on en retire deux produits : le premier, distillé de 143 à 145 degrés, offre la composition et les propriétés du bromure de propylène et se détruit par l'action de la potasse alcoolique, en donnant un corps C^3H^5Br identique avec le propylène monobromé ; le second, bouillant dans les environs de 162 degrés, de beaucoup moins abondant que le premier, et qu'il est fort difficile d'avoir à peu près complétement débarrassé de celui-ci.

» L'action de l'acide bromhydrique moins concentré (solution saturée à + 6 degrés, étendue du tiers de son volume d'eau, que l'on chauffe pendant une douzaine d'heures en vase clos à 100 degrés, avec le bromure d'allyle, ce qui donne un dépôt noir assez abondant) ne fournit pas de meilleurs résultats. Après que le bromure d'allyle inaltéré a passé lors de la rectification de l'huile lavée, on obtient le mélange distillant de 142 à 168 degrés environ, dans lequel la proportion de bromure de propylène est plus considérable encore que dans le cas précédent.

» C'est pour ainsi dire par hasard, en préparant le bromure d'allyle par la méthode indiquée plus haut, que j'ai trouvé les conditions dans lesquelles il faut se placer pour obtenir ce second produit très-sensiblement pur ; encore ne se forme-t-il qu'en assez faible proportion, mais il se forme à peu près seul, c'est-à-dire sans être accompagné d'une quantité notable de bromure de propylène. Ces conditions sont assez délicates pour que je croie utile de les préciser.

» On fait passer un courant d'acide bromhydrique gazeux dans de l'alcool allylique pur placé dans un ballon plongé dans de l'eau froide. Le

gaz est vivement absorbé par l'alcool, qui s'échauffe beaucoup; de là la nécessité de refroidir avec soin. Au bout d'un certain temps, le liquide se trouble, le gaz bromhydrique continuant à être absorbé, et il se forme deux couches : l'une inférieure de bromure d'allyle, l'autre supérieure d'alcool allylique aqueux non encore saturé ou éthérifié. La couche inférieure augmente constamment de volume aux dépens de l'autre, et il arrive un moment où elle devient plus légère qu'elle et prend sa place. On s'arrête quand l'acide cesse d'être absorbé, ce qui se traduit par des fumées épaisses qui sortent du ballon.

» La couche supérieure (bromure d'allyle) est séparée, lavée, séchée et distillée. Elle se résout en très-grande partie en bromure d'allyle, puis le point d'ébullition monte d'abord lentement, puis de plus en plus vite, jusque vers 158 degrés, point où passe un autre produit. Tout a passé à 168 degrés. En soumettant ce produit à une ou deux rectifications et rejetant les premières portions, on obtient finalement un liquide bouillant à 162-164 degrés (corrigé), jaunâtre dès qu'il vient de se condenser, tournant au vert au bout de quelques minutes, pour redevenir jaunâtre au bout de quelque temps (1).

C'est le nouvel isomère du bromure de propylène (2). Son odeur est beaucoup moins suave que celle de celui-ci, sa densité à peu près la même. Elle a été trouvée égale à 1,93 à la température de 19 degrés, celle du bromure de propylène, déterminée à la même température, étant 1,94. Il s'en distingue nettement non-seulement par son point d'ébullition plus élevé d'une vingtaine de degrés, mais encore par le dédoublement spécial qu'il éprouve par l'action de la potasse alcoolique.

» Celle-ci, chauffée en effet avec lui en vase clos et à 100 degrés pendant quelques heures, lui enlève d'abord une molécule d'acide bromhydrique, en régénérant le bromure d'allyle, qui à son tour effectue la double décomposition connue, d'où il résulte l'éther allyléthylique. Si l'on distille et si l'on précipite par l'eau, celle-ci sépare du produit distillé une *couche plus*

---

(1) Dans l'espoir d'augmenter le rendement, après la saturation de l'alcool allylique par l'acide bromhydrique, on a abandonné le tout à lui-même pendant quinze à vingt heures. L'huile séparée et distillée fournit un produit de 154-168 degrés, qui contient des quantités très-notables de bromure de propylène. Ce résultat s'explique tout naturellement si l'on se rappelle que l'acide bromhydrique concentré donne à froid, avec le bromure d'allyle, un mélange des deux isomères riche en bromure de propylène.

(2) Analyse du produit 162-164 : $0^{gr},510$ ont fourni 0,949 de bromure d'argent. D'où $Br = 79,2$. La formule exige $Br = 79,2$.

légère qui possède l'odeur de l'éther allyléthylique et qui, séparée et distillée, fournit cet éther, contenant cependant de petites quantités de propylène bromé, provenant sans aucun doute de la présence d'une petite quantité de bromure de propylène dans le composé en question.

» On sait que, sous l'action du même réactif, le bromure de propylène et le bromhydrate de propylène monobromé donnent du propylène bromé et, par une action ultérieure suffisamment prolongée, de l'allylène.

» Le mode de génération et surtout le dédoublement du composé $C^3H^6Br^2$ (1) que je viens de décrire justifient le nom de *bromhydrate de bromure d'allyle* que je propose de lui donner.

» Un second composé dont l'isomérie avec le bromure de propylène est tout aussi nette que celle du précédent s'obtient avec la plus grande facilité par l'union directe à froid de l'acide bromhydrique avec l'allylène. Cette union donne deux produits : le premier, le plus abondant de beaucoup (environ les $\frac{9}{10}$ du tout dans les conditions où j'ai opéré), est un liquide fort stable, bouillant d'une manière constante à 114 degrés (corrigé) sous la pression 740 millimètres; c'est le dibromhydrate d'allylène $C^3H^4\left\{\begin{matrix}HBr\\HBr\end{matrix}\right.$; le second est le monobromhydrate $C^3H^4.HBr$, liquide bouillant vers 48 degrés et *isomérique* avec le propylène bromé. Je reviendrai sur ces deux corps, que je ne fais qu'indiquer ici, dans une très-prochaine Communication.

» Ainsi, au bromure de propylène correspondent, quant à présent, les isomères suivants (isolés, car d'autres encore sont possibles) :

	Points d'ébullition.
Bromhydrate de propylène monobromé............	122°
Bromhydrate de bromure d'allyle..................	162-164°
Dibromhydrate d'allylène.........................	114°

Et enfin le méthylbromacétol de M. Linnemann, bouillant de 115 à 118 degrés, sur lequel j'aurai à revenir bientôt. »

---

(1) Ce corps a été décrit récemment par M. F. Géromont, dans une Note publiée dans les *Berichte der deutschen Chemischen Gesellschaft zu Berlin*, t. IV, p. 548, 1871, n° 10. Aucun extrait de cette Note n'a encore paru dans un journal français, et M. Reboul n'en avait évidemment pas connaissance. Tous les chimistes reconnaîtront que ses recherches actuelles se rattachent de la manière la plus naturelle à ses découvertes antérieures, d'ailleurs citées par M. Géromont. Ce dernier chimiste admet que le bromure, bouillant de 160 à 163 degrés, et qu'il a obtenu, en même temps que le bromure de propylène, par l'action de l'acide bromhy-

CHIMIE. — *Sur l'iodure d'amidon.* Note de **M. J. Personne.**

« Dans le travail que M. E. Duclaux a publié dans le dernier numéro des *Comptes rendus* de l'Académie, ce chimiste conclut de ses expériences que l'iodure d'amidon n'est pas une véritable combinaison chimique, « que la formation de ce corps bleu, aux dépens de ses constituants, est physique, au même titre que l'absorption exercée, par exemple, par le charbon sur les sels de plomb en dissolution. »

» J'ai l'honneur de rappeler à l'Académie qu'il y a six ans j'étais arrivé à la même conclusion, à la suite d'expériences faites dans un autre ordre d'idées que celles de M. Duclaux. Dans le travail publié dans le tome LXI des *Comptes rendus*, j'ai dit, en effet, que l'iodure d'amidon ne devait pas être considéré comme une véritable combinaison, mais bien comme *le produit de la fixation de l'iode sur l'amidon, de la même manière qu'une matière colorante est fixée sur un tissu ou sur le charbon animal, et qu'on devait regarder ce composé bleu comme une teinture, une véritable laque.* Cette conclusion, comme on le voit, est identique à celle de M. Duclaux, quoique formulée dans des termes différents. »

PHYSIOLOGIE. — *Recherches expérimentales sur l'influence que les changements dans la pression barométrique exercent sur les phénomènes de la vie.* 3e Note de **M. P. Bert**, présentée par M. Claude Bernard.

« J'ai montré, dans mes deux premières Notes (voir *Comptes rendus*, 1871, t. LXXIII, p. 213 et 503), que des animaux maintenus dans des vases clos y périssent par empoisonnement dû à l'acide carbonique, si l'air contenu dans les vases est à une pression supérieure à deux atmosphères, et par véritable asphyxie, c'est-à-dire par privation d'oxygène, lorsque la pression est inférieure à une atmosphère. Dans le premier cas, la proportion centésimale de l'acide carbonique contenu dans l'air du récipient est telle que, multipliée par le chiffre qui exprime la pression, elle donne un nombre constant (26 à 28 pour les moineaux); dans le second, la proportion de l'oxygène qui reste est telle que, multipliée par la fraction qui exprime la pression, elle donne un nombre constant (3,5 pour les moineaux).

---

drique sur le bromure d'allyle, est le bromure de propylène normal, qu'il nomme *bromure de triméthylène*. Dans l'intérêt de la vérité, j'ai cru nécessaire d'ajouter cette observation à la Note si précise de M. Reboul. A. Wurtz.

Entre une et deux atmosphères, ces lois n'ont plus leur application, et l'animal périt à la fois par privation d'oxygène et par empoisonnement dû à l'acide carbonique.

» J'ai cherché à savoir ce qu'il adviendrait en employant des atmosphères artificielles beaucoup plus riches en oxygène que l'air. J'espérais, éliminant ainsi la cause de mort produite par la privation d'oxygène, vérifier, à toutes les pressions inférieures à 2 atmosphères, la loi relative à la proportion de l'acide carbonique.

» C'est, en effet, ce qui est arrivé. La mort d'un moineau dans une atmosphère suroxygénée, à la pression normale et à la température de 12 à 15 degrés, arrivait dans mes appareils lorsque cette atmosphère contenait environ 25 pour 100 d'acide carbonique. A 2 atmosphères, j'ai trouvé 12,5 d'acide carbonique, à 1 $\frac{1}{2}$ atmosphère, 16,7; à 62^{c}, 27,8; à 54^{c}, 35,3; à 43^{c}, 42,4; à 34^{c}, 60; à 29^{c}, 66; c'est-à-dire des nombres qui, multipliés par le chiffre exprimant la pression, reproduisent, aussi exactement qu'on peut l'espérer dans des expériences de cet ordre, le nombre 25.

» Mais, pour les pressions inférieures à 25 centimètres, les nombres obtenus ne rentraient plus dans la loi signalée, et ils en différaient d'autant plus que la pression était plus faible. Ainsi, à la pression de 24 centimètres, j'ai trouvé 72,1 pour 100 d'acide carbonique, le calcul donnant 78,5; à 18 centimètres, je n'avais plus que 68,1, au lieu du nombre irréalisable de 104. A 14 centimètres, la proportion tombait à 66; à 8 centimètres, elle n'était plus que de 37,1; à 6^{c},6, que de 17,3.

» C'est que, à ces basses pressions, la proportion centésimale de l'oxygène, pour être encore fort élevée lorsque la mort arrivait, ne correspondait en réalité qu'à une proportion bien faible, si on la considérait rapportée à la pression normale. En effet, à 18 centimètres de pression, par exemple, il restait dans l'air devenu mortel 15,4 pour 100 d'oxygène, ce qui correspond, à la pression normale, à $15,4 \times \frac{18}{76} = 3,6$: or, nous avons vu que cette dernière proportion est précisément celle avec laquelle périssent les moineaux dans l'air, lorsque, la pression étant inférieure à une atmosphère, leur mort est due exclusivement à la privation d'oxygène. Ainsi, aux pressions très-basses, même dans les atmosphères suroxygénées, la mort arrive par privation d'oxygène.

» En résumé, l'influence des gaz oxygène ou acide carbonique sur l'économie animale est en rapport direct avec la force élastique que présentent ces gaz dans les atmosphères confinées où respirent les animaux. Cette force,

à son tour, dépend de deux facteurs : la proportion centésimale et la pression manométrique. On peut obtenir les mêmes résultats si, augmentant l'un de ces facteurs, on diminue l'autre proportionnellement. Mais, quelle que soit la façon dont on varie les expériences, on en arrive toujours à ce double résultat : 1° les moineaux seront tués par l'acide carbonique lorsque la force élastique de ce gaz dans l'air des récipients sera équivalente à celle de 25 centièmes environ dans un mélange gazeux à la pression normale, ou, en d'autres termes, à celle d'une atmosphère d'acide carbonique pur considérée à la pression de $76 \times 0,25 = 19$ centimètres de mercure; 2° les moineaux périront par privation d'oxygène lorsque la force élastique de ce gaz sera équivalente à celle de 3,5 centièmes environ dans un mélange gazeux à la pression normale, ou, en d'autres termes, à celle d'une atmosphère d'oxygène pur considérée à la pression de $0,035 \times 76 = 2^c,66$.

» On peut donc conclure de ceci qu'il serait possible d'amener des moineaux à vivre dans une atmosphère d'oxygène pur à une pression peu supérieure à $2^c,66$, ou dans de l'air à une pression peu supérieure à $\frac{3,5 \times 76}{21} = 12^c,6$. Je n'ai pu, il est vrai, dépasser pour l'air la limite de 15 centimètres, et pour un mélange à 87 centièmes d'oxygène celle de 6 centimètres; mais on irait évidemment plus loin en abaissant la pression avec une suffisante lenteur. Dans tous les cas, le fait qu'un moineau peut vivre après être resté quelque temps à une pression de 6 centimètres suffit pour montrer que la mort par diminution de pression n'est point due à quelque action générale d'ordre physique ou mécanique, mais simplement à la suppression de la fonction respiratoire, de l'absorption d'oxygène.

» Considérons maintenant ce qu'il advient des animaux confinés dans un air suroxygéné dont la pression dépasse $2\frac{1}{2}$ atmosphères. Ici, la loi que j'ai indiquée devient fausse : à 3 atmosphères, par exemple, on ne trouve dans l'air où l'oiseau est mort que 5,6 pour 100 d'acide carbonique au lieu de 8,3 qu'indique le calcul; à 4 atmosphères, 2,1 au lieu de 6,1; à 5 atmosphères, 1,4 au lieu de 5.

» Mais il se produit dans ces expériences un résultat remarquable et tout à fait imprévu. Lorsqu'on porte la pression à 4 ou 5 atmosphères, on voit, presque immédiatement, l'oiseau donner des signes de malaise : de petites trépidations de la tête et des pattes apparaissent, auxquelles succèdent, de dix à quinze minutes après le début de l'expérience, des convulsions violentes. Celles-ci durent une ou deux minutes, et se répètent au

bout d'un temps à peu près égal; puis les crises vont en se rapprochant et en diminuant d'intensité, jusqu'à la mort, qui survient généralement en moins d'une demi-heure. Vient-on à retirer l'animal pendant la période convulsive, il continue à avoir, respirant à l'air libre, une série de convulsions, et périt ou survit suivant le moment auquel on l'a extrait du récipient.

» Ces effets violents sont dus non à la pression en elle-même, puisque j'ai montré que, dans l'air, les moineaux supportent, sans en paraître incommodés, des pressions de 8 et 9 atmosphères; puisque, lorsqu'ils meurent dans le récipient, c'est au bout de trois heures environ, sans nulle convulsion, et après avoir formé les quantités d'acide carbonique indiquées par la loi ci-dessus énoncée. Ces effets sont exclusivement dus à la proportion plus forte d'oxygène dans l'air du récipient, oxygène qui pénètre alors en plus grande quantité dans le sang pour y jouer un rôle funeste.

» L'action toxique, comme le montrent les chiffres cités plus haut, commence à se manifester vers 3 atmosphères; mais les convulsions n'apparaissent franchement que vers 4 atmosphères, lorsque l'air contient 75 centièmes d'oxygène, c'est-à-dire lorsque la force élastique de l'oxygène, comparée à celle d'une atmosphère d'oxygène pur et à la pression normale, que nous prendrons pour unité, peut être représentée par $4 \times 0,75 = 3$. Or, pour arriver à une pression oxygénée équivalente en employant simplement l'air, il faudrait dépasser 14 atmosphères, ce que ne me permettent pas de faire les appareils dont je dispose actuellement.

» Cette lacune sera bientôt comblée; mais, en attendant, je me suis demandé si la présence de l'azote qui, pour l'air comprimé, s'introduit dans le sang en même temps que l'oxygène, n'agirait pas de façon à modifier la redoutable énergie de ce dernier. Pour répondre à cette question, j'ai placé un moineau dans l'air à 5 atmosphères, puis j'ai ajouté $3\frac{1}{2}$ atmosphères d'un air très-oxygéné : la proportion centésimale de l'oxygène étant alors 50,6, la pression de ce gaz correspondait à 4,3; or, les convulsions survinrent au bout de cinq minutes et la mort un quart d'heure après : l'azote n'avait donc rien fait.

» On peut donc penser que la pression de 15 atmosphères d'air constitue une limite extrême à laquelle des moineaux ne pourraient être soumis sans périr rapidement avec de violentes convulsions.

» La conclusion principale à tirer de ces faits, pour étrange et paradoxale qu'elle paraisse, n'en semble pas moins rigoureuse : *l'oxygène*,

lorsque sa proportion dans le sang est augmentée d'une manière notable, se comporte comme un poison et tue en déterminant des convulsions.

» Il reste à déterminer, d'une part la dose à laquelle l'oxygène devient toxique, et d'autre part le mécanisme physiologique de son action. Je dirai seulement aujourd'hui que, très-probablement, la dose mortelle de l'oxygène est peu supérieure à la quantité de ce gaz qui circule normalement dans nos artères. Et, relativement à la seconde question, je ferai remarquer que, chez les animaux empoisonnés par l'oxygène, la température s'abaisse de plusieurs degrés dès le début des accidents convulsifs.

» Je reviendrai avec détails sur ces questions dans des Communications que j'aurai l'honneur d'adresser prochainement à l'Académie. »

PHYSIOLOGIE. — *Recherches sur la respiration des poissons.* Note de M. N. **Gréhant**, présentée par M. Cl. Bernard.

« Les expériences faites par de Humboldt et Provençal sur la respiration des poissons ont établi que ces animaux absorbent de l'oxygène et qu'ils exhalent de l'acide carbonique. En chauffant de l'eau de Seine dans un grand ballon de terre muni d'un tube abducteur, de Humboldt et Provençal ont retiré successivement de 1 litre d'eau avant la respiration, puis de l'eau de Seine dans laquelle sept tanches avaient respiré pendant plusieurs heures, les volumes de gaz suivants :

	Avant la respiration.	Après la respiration.
	cc	cc
Oxygène	6,03	0,40
Azote	13,43	11,20
Acide carbonique	0,81	5,92

» Presque tout l'oxygène de l'eau et $\frac{1}{6}$ du volume d'azote avaient été absorbés, et le volume d'acide carbonique produit a été trouvé égal aux $\frac{4}{5}$ environ du volume d'oxygène absorbé.

» Chez des tanches privées de vessie natatoire, de Humboldt et Provençal ont trouvé un résultat étonnant : l'absorption d'oxygène et d'azote fut considérable, mais la production de l'acide carbonique fut trouvée nulle. En voulant vérifier ce fait, je fus conduit à reprendre l'étude de la respiration des poissons, et j'ai utilisé pour cet objet la pompe à mercure et l'appareil simple d'extraction des gaz du sang, que j'emploie depuis plusieurs années.

» Si l'on dissout dans l'eau distillée privée de gaz par une longue ébullition 40 centimètres cubes d'acide carbonique pur, puis si l'on fait passer cette solution dans l'appareil à extraction des gaz, dans lequel on a fait d'abord le vide absolu, il est facile d'obtenir un dégagement complet du

gaz acide carbonique. 1 litre d'eau de Seine, introduit dans le même appareil, a fourni

	cc
Oxygène	6,06
Azote	13,50
Acide carbonique	34,90

» Ainsi j'obtiens autant d'oxygène et d'azote que de Humboldt et Provençal, mais un volume d'acide carbonique quarante fois plus considérable, ce qui montre combien le nouveau procédé de dégagement est supérieur à l'ancien. J'ajouterai que, si l'on veut obtenir la totalité de l'acide carbonique contenu dans l'eau de Seine, il faut introduire un acide dans l'appareil à extraction, afin de détruire la combinaison de l'acide carbonique avec la chaux; l'extraction complète de l'acide carbonique libre et combiné est nécessaire, si l'on veut déterminer exactement la quantité d'acide carbonique produit par la respiration des poissons.

Expériences.

I. Deux tanches, pesant $0^{kil},37$, furent placées dans une grande cloche de verre contenant $10^{kil},74$ d'eau de Seine; une heure dix minutes après l'eau renfermait par litre :

Oxygène	1^{cc}
Azote	14,5
Acide carbonique	40,2

» En comparant ces résultats avec ceux que l'extraction des gaz de l'eau de Seine a fournis, on voit que les poissons ont absorbé $5^{cc},06$ d'oxygène, qu'ils ont exhalé $5^{cc},3$ d'acide carbonique pour chaque litre d'eau, et que l'azote fut exhalé dans la proportion de $\frac{1}{14}$.

» II. Une tanche, pesant 95 grammes, privée de sa vessie natatoire, fut placée, quatre jours après l'opération, dans $3^{lit},500$ d'eau de Seine. Après trois heures de séjour dans la cloche, on fit passer dans l'appareil à extraction des gaz une partie de l'eau dans laquelle le poisson avait respiré. L'extraction complète des gaz de l'eau de Seine, avant et après la respiration, donna par litre

	Avant la respiration.	Après la respiration.
	cc	cc
Oxygène	7,44	0,0
Azote	16,14	16,23
Acide carbonique libre	17,28	22,40
Acide carbonique combiné	70,14	75,04
Acide carbonique total	87,42	97,44

» Ainsi la tanche, privée de sa vessie natatoire, absorba tout l'oxygène, ou $7^{cc},43$ d'oxygène par litre d'eau respirée, exhala 10 centimètres cubes d'acide carbonique et n'absorba point d'azote.

» Il faut remarquer que, dans toutes les expériences que j'ai faites, les conditions de la respiration des poissons ne sont point normales; pour déterminer, chez les animaux aquatiques, des nombres qui permettent de les classer dans le tableau si instructif des résultats obtenus par MM. Regnault et Reiset chez les animaux à respiration aérienne, il faudra disposer les expériences pour renouveler convenablement l'eau qui sert à la respiration des poissons.

» II. Les poissons sont capables d'enlever à l'eau non renouvelée dans laquelle on les place la totalité de l'oxygène dissous; une expérience comparative très-simple m'a fait reconnaître qu'ils jouissent aussi de la propriété d'extraire l'oxygène combiné avec les globules sanguins ou avec l'hémoglobine.

» On prend deux cyprins dorés de poids égal, qui sont placés : l'un *a* dans 400 centimètres cubes d'eau distillée aérée, l'autre *b* dans un mélange de $\frac{1}{10}$ de sang de chien défibriné et oxygéné, et de $\frac{9}{10}$ d'eau distillée aérée, mélange dont le volume est aussi égal à 400 centimètres cubes; les deux flacons sont fermés par des bouchons de verre. Le poisson *a* meurt au bout de treize heures, et l'extraction des gaz de l'eau montre que tout l'oxygène dissous a été absorbé par la respiration branchiale. Le poisson *b* meurt seulement au bout de vingt et une heures, et l'extraction des gaz du mélange sanguin, qui est devenu noir, prouve que l'oxygène combiné avec l'hémoglobine a été absorbé presque complétement, comme celui qui était simplement dissous dans l'eau; en effet, le mélange de sang et d'eau contenait avant l'expérience $8^{cc},4$ d'oxygène, et il n'en renfermait plus que $0^{cc},4$ après la mort du poisson.

» L'expérience fut répétée sur deux carpes : l'une *a*, pesant 618 grammes, fut placée dans $3^{lit},650$ d'eau de Seine; elle mourut asphyxiée au bout de huit heures quarante-cinq minutes; l'eau, après la mort du poisson, ne contenait plus d'oxygène et renfermait une plus grande quantité d'acide carbonique.

» Une autre carpe *b*, du poids de 688 grammes, fut placée dans un volume égal, $3^{lit},650$, d'un mélange formé de $\frac{1}{5}$ de sang de bœuf défibriné et oxygéné, et de $\frac{4}{5}$ d'eau de Seine; ce poisson vivait encore dix-neuf heures quinze minutes après, et le mélange de sang et d'eau renfermait encore un peu d'oxygène; cependant la réduction de l'hémoglobine était presque

complète, ce que l'on reconnut par l'extraction des gaz, par l'examen au spectroscope, et par la coloration foncée et la diminution de la transparence du sang étendu d'eau. Je ne puis donner ici le détail des résultats numériques qui établissent que la consommation de l'oxygène et la production d'acide carbonique furent plus grandes chez le poisson *b* que chez le poisson *a*, ce qui est en rapport avec la durée plus grande de la vie du premier. Une partie de ce mélange de sang et d'eau fut conservée dans le laboratoire à une température voisine de 14 degrés pendant quarante-huit heures, et, au bout de ce temps, 1 litre du mélange, qui était rouge, renfermait encore $23^{cc},3$ d'oxygène; par suite, on ne peut attribuer la disparition de l'oxygène et la production d'acide carbonique dans le mélange sanguin que pour une faible part à la respiration intime, qui continue dans le sang extrait des vaisseaux. Ainsi les globules rouges du sang de poisson peuvent enlever l'oxygène aux globules rouges ou à l'hémoglobine du sang d'un autre animal, c'est-à-dire aux globules que les mouvements respiratoires du poisson font circuler autour des branchies, et ce fait a de l'importance au point de vue de la physiologie générale; le mode de respiration du fœtus dans le placenta maternel chez les mammifères paraît tout à fait comparable au mode de respiration du poisson, dont les branchies plongeraient dans un milieu sanguin.

» Ces recherches sur la respiration des poissons ont été faites au Muséum d'histoire naturelle, dans le laboratoire de physiologie générale, dirigé par M. Claude Bernard. »

MÉDECINE EXPÉRIMENTALE. — *Sur les modifications anatomiques qui se produisent dans la moelle épinière à la suite de l'amputation d'un membre ou de la section des nerfs de ce membre.* — Note de **M. A. Vulpian**, présentée par M. Cl. Bernard.

« Jusque dans ces dernières années, on ignorait l'influence qu'exerce sur la moelle épinière l'amputation partielle ou totale d'un membre chez l'homme. J'ai publié en 1868, dans les *Archives de physiologie*, une Note sur ce sujet; bientôt après, M. W. H. Dickinson, en Angleterre, faisait connaître les résultats des investigations qu'il avait entreprises de son côté dans la même direction. J'ai étudié depuis lors un certain nombre de cas d'amputation soit du membre supérieur, soit du membre inférieur; l'examen des nerfs et de la moelle épinière dans ces cas a confirmé mes premières observations, et je puis aujourd'hui présenter un résumé de l'ensemble de mes recherches.

» L'amputation totale ou partielle d'un membre chez l'homme détermine des modifications remarquables dans la région de la moelle épinière qui fournit les nerfs destinés à la partie amputée. Ces modifications consistent essentiellement en une diminution en tous sens des dimensions de la moitié correspondante de la moelle dans cette région. Contrairement à ce que j'avais remarqué dans les premiers cas que j'avais examinés et conformément à ce qu'a indiqué M. Dickinson, ce sont les parties postérieures de la moelle épinière, c'est-à-dire la corne postérieure et le faisceau postérieur qui subissent au plus haut degré ces modifications.

» La diminution en tous sens des dimensions des parties modifiées n'est pas due à une altération réelle de structure; il n'y a ni myélite interstitielle, ni atrophie granulo-graisseuse des éléments constitutifs du tissu de la moelle épinière.

» Dans quelques cas tout à fait exceptionnels, le tissu interstitiel du faisceau postérieur modifié s'est un peu hypertrophié. Peut-être, dans ce cas, y avait-il eu pendant longtemps de violentes douleurs dans le moignon.

» Il s'agit là, en règle générale, d'une atrophie simple, c'est-à-dire d'une réduction du diamètre des éléments, principalement des tubes nerveux. L'examen de la moelle épinière d'amputés, fait à des époques rapprochées dans certains cas, ou éloignées dans d'autres, du jour de l'opération, m'a permis d'acquérir une certitude absolue sur ce point. Je n'ai pas constaté nettement qu'il y eût disparition ou même amoindrissement d'un certain nombre des cellules de la substance grise.

» La modification de la moelle épinière ne s'étend pas beaucoup au delà de la limite de la région en rapport d'innervation avec la partie amputée. C'est surtout de bas en haut qu'a lieu l'extension du travail d'atrophie, ce qui s'explique facilement dès qu'on se rappelle que c'est principalement dans ce sens que se propagent les altérations des cordons postérieurs de la moelle, après lésion de ces cordons ou lésion des racines postérieures des nerfs rachidiens.

» Les changements que les amputations font subir à la moelle épinière s'observent non-seulement lorsque l'amputation a été faite avant le moment où s'arrête l'accroissement du corps, mais encore lorsque cette amputation a été faite dans l'âge adulte et même dans la période sénile de la vie. Ils sont cependant d'autant plus rapides et plus prononcés que l'âge est moins avancé. Pour que ces changements deviennent très-manifestes dans l'âge adulte, il faut toujours un intervalle de plusieurs mois au moins entre le jour de l'opération et le moment de la mort.

» Je n'ai pas pratiqué l'amputation d'un membre chez des mammifères pour rechercher cette modification de la moelle un certain temps après l'opération; mais j'ai eu l'occasion de faire cette recherche chez une grenouille qui avait perdu, depuis longtemps sans doute, tout le pied gauche, et j'ai cru voir, dans ce cas, une légère diminution des dimensions de la partie postérieure gauche du renflement crural de la moelle.

» On devait se demander si l'atrophie locale de la moelle épinière, dans les cas d'amputation, est due principalement à la section des nerfs effectuée par l'opération. Pour s'éclairer sur ce point, il fallait couper isolément les nerfs d'un membre, en respectant les autres parties. J'ai donc fait la section du grand nerf sciatique d'un côté, et, parfois, aussi du crural du même côté, sur divers animaux (chiens, lapins, cochons d'Inde). Après des intervalles de temps variables, j'ai examiné la région dorsale et la région lombaire de la moelle épinière de ces animaux. Deux ou trois mois après l'opération, et même après trente-six jours chez de jeunes lapins, j'ai constaté une atrophie de la moitié correspondante de la moelle, dans la région en relation avec les racines des nerfs coupés, et cette atrophie offrait les mêmes caractères que l'atrophie observée chez l'homme à la suite des amputations. C'est donc principalement, sinon uniquement, par suite de la section des nerfs du membre amputé qu'a lieu l'atrophie locale de la moitié correspondante de la moelle épinière.

» Quant au mécanisme de cette influence de la section des nerfs sur la moelle épinière, il reste assez obscur. Cette section est suivie d'une modification, peu connue jusqu'ici, du bout central des nerfs. Dans de rares circonstances, le bout central peut s'hypertrophier par un travail de névrite ascendante, surtout lorsqu'il s'agit de nerfs crâniens; mais, dans l'immense majorité des cas, ce bout central subit une diminution de diamètre, comme l'a montré M. Brown-Séquard et comme je l'ai vu bien des fois. Cet amoindrissement se retrouve dans les racines tant antérieures que postérieures des nerfs coupés, soit dans les expériences sur les animaux, soit dans les cas d'amputation chez l'homme. J'ai constaté que, dans ces diverses circonstances, il n'y a d'altération granulo-graisseuse, ni du bout central des nerfs coupés, ni de leurs racines; une altération de ce genre ne se voit que dans l'extrémité tout à fait terminale du nerf au voisinage immédiat de la section. Dans tout le reste de son étendue, la partie centrale des nerfs ne subit qu'une atrophie simple, par diminution du diamètre des tubes nerveux. Il est probable que l'atrophie de la région correspondante de la moelle est due, en grande partie, à la diminution du

diamètre des fibres nerveuses qui, des racines des nerfs, viennent prendre place au milieu de ce centre nerveux. La seule condition connue jusqu'ici qui puisse être invoquée pour expliquer cette atrophie, c'est l'inactivité physiologique des nerfs coupés et des éléments de la moelle qui sont en relation avec eux. »

PHYSIOLOGIE. — *Sur l'action combinée de la morphine et du chloroforme.* Note de **MM. L. Labbé** et **E. Guyon**, présentée par M. Cl. Bernard.

« Bien que l'usage du chloroforme comme agent anesthésique soit déjà ancien, il n'est pas de chirurgien, quelles que soient sa pratique et son habileté, qui n'use de cet agent avec une certaine appréhension. C'est qu'en effet il n'existe pas jusqu'à ce jour de règle ou de procédé pour son emploi qui nous mette dans une complète sécurité à l'égard des accidents qu'il peut produire.

» Obtenir l'anesthésie complète en échappant aux risques d'accidents mortels qu'entraîne malheureusement, souvent encore, l'absorption du chloroforme, est donc un problème dont la solution est bien digne de tenter tous les chirurgiens.

» M. Cl. Bernard, à son cours du Collége de France, au moment où il étudiait comparativement l'action physiologique des différents alcaloïdes de l'opium, a soulevé cette importante question et l'a en partie résolue, en nous montrant qu'il est possible, en combinant l'action de la morphine et du chloroforme, d'obtenir un état d'anesthésie très-complet, avec une quantité de chloroforme beaucoup moindre qu'il ne la faut ordinairement, lorsque cette substance est employée seule. Pour donner cette démonstration, M. Cl. Bernard injectait préalablement sous la peau d'un chien une certaine quantité de chlorhydrate de morphine (5 ou 10 centigrammes), et peu de temps après on administrait du chloroforme. Chaque fois l'anesthésie se produisait promptement et se prolongeait, bien que la quantité de chloroforme absorbée fût très-petite. Ces expériences furent répétées un grand nombre de fois et toujours avec le même résultat.

» Au moment où M. Cl. Bernard faisait ces intéressantes recherches, un chirurgien de Munich, Nusbaüm, constatait également ce phénomène sur une femme qui avait, pendant le cours d'une opération, absorbé une grande quantité de chloroforme. Ce chirurgien ne voulut pas administrer plus longtemps de cette substance, dans la crainte de provoquer un accident mortel. Il eut alors l'idée d'administrer en lavement une petite quan-

tité de morphine, et il vit alors l'anesthésie chloroformique se prolonger bien longtemps encore.

» Deux chirurgiens de Strasbourg, MM. Rigault et Sarazin, ont fait des recherches sur ce point. Jusqu'à ce jour leurs observations sont restées inédites, d'après les renseignements qui nous sont donnés par un de leurs élèves. M. Guibert, de Saint-Brieuc, nous communique la Note suivante :

» 1 centigramme de chlorhydrate de morphine en injection sous-cutanée, un quart d'heure après l'inhalation du chloroforme; on obtient d'abord l'analgésie sans sommeil avec intégrité complète de l'intelligence et des sens spéciaux. Cette analgésie n'est pas absolue et serait insuffisante pour les opérations graves avec section des troncs nerveux.

» En continuant l'inhalation, on obtient l'anesthésie, avec des doses de chloroforme inférieures à celles nécessaires quand on emploie le chloroforme seul. »

» Nous ne croyons pas que, pour ce qui a trait aux applications à la chirurgie de cet important phénomène, découvert par M. Cl. Bernard, les chirurgiens aient eu l'idée de pousser plus avant les recherches.

» Préoccupés de cette importante question, nous donnons ici un court résumé d'observations que nous avons entreprises chez l'homme, nous réservant d'y revenir sous peu, avec plus de développement et la rigueur scientifique que doit comporter le sujet, alors qu'il nous sera possible de doser d'une façon bien précise la quantité de chloroforme absorbée.

» 1° Le 27 janvier dernier, M. Labbé, dans son service de la Pitié, pratique sur un homme encore jeune une amputation sus-maléolaire; vingt minutes avant l'opération, on a injecté chez ce malade, à la partie interne d'une cuisse, $0^{gr},02$ de chlorhydrate de morphine. On donne alors le chloroforme, et il se manifeste une légère excitation; au bout de sept minutes, l'anesthésie est complète et se prolonge encore longtemps après l'opération, qui a duré dix-sept minutes. La quantité de chloroforme dépensée est de 28 grammes. Ce malade, bien que la sensibilité ne soit pas encore revenue, répond parfaitement à toutes les questions qu'on lui fait, et il est très-éveillé.

» 2° Le même jour, nous agissons de même chez un autre malade qui doit subir une opération assez longue (évidement du grand trocanter). Application de chloroforme vingt minutes après l'injection morphine; l'anesthésie est complète après six minutes d'inhalation du chloroforme. L'opération a duré trente-deux minutes, et il a été dépensé 25 grammes de chloroforme. Ce malade a eu une période d'excitation assez longue, puis il est tombé dans la résolution complète et n'a rien senti pendant toute la durée de son opération.

» 3° *Malade.* — Mardi 30 janvier, nous en donnons à un malade qui doit subir une opération de fistule à l'anus. Comme pour les deux autres, injection de $0^{gr},02$ de chlorhydrate de morphine un quart d'heure avant l'opération. Période d'excitation de cinq minutes, puis anesthésie complète. La quantité de chloroforme employée a été de 18 grammes.

» 4° *Malade.* — Injection de $0^{gr},02$ de chlorhydrate de morphine à une jeune fille de vingt ans qui doit subir l'opération de l'ovariotomie. Le chloroforme est donné vingt minutes après l'injection; une légère période d'excitation se manifeste, et l'anesthésie est complète au bout de six minutes. L'opération a duré une heure quarante-cinq minutes, et la dépense de chloroforme, pour produire l'anesthésie pendant tout ce temps, a été de 48 grammes. Pendant tout ce temps, la malade a été dans un état complet de résolution, et elle s'est réveillée très-calme après l'opération, disant qu'elle n'avait rien senti et ne sentait encore aucune douleur.

» En résumé, ces recherches, bien que très-incomplètes, nous permettent cependant d'affirmer :

» 1° Que l'on peut obtenir chez l'homme, comme l'a montré M. Claude Bernard pour les animaux, l'anesthésie bien plus rapidement en combinant l'action du chloroforme et de la morphine;

» 2° Que cette anesthésie est de plus longue durée et peut se prolonger très-longtemps avec de faibles doses de chloroforme, et que, par ce fait, les risques d'accidents mortels peuvent se trouver considérablement diminués.

» Nous croyons également que l'on pourrait sans inconvénient élever un peu la dose du chlorhydrate de morphine dans l'injection préalable, et qu'il y aurait peut-être avantage à pratiquer l'injection un peu plus longtemps avant l'opération que nous ne l'avons fait. Nous avons cru remarquer que tout n'était pas absorbé au point où avait été pratiquée l'injection au moment de l'opération. »

PHYSIOLOGIE. — *Sur la nature essentielle des corpuscules organisés de l'atmosphère et sur la part qui leur revient dans les phénomènes de fermentation; par* **M. A. Béchamp.**

« En examinant attentivement la poussière qui se dépose de l'atmosphère dans mon laboratoire, et celle des rues de Montpellier, j'ai été frappé de la grande analogie de forme que l'on remarque entre les granulations moléculaires que le microscope y révèle et celles que j'ai signalées, sous le nom de microzymas dans la craie et dans les calcaires d'eau douce ou ma-

rins que j'ai étudiés. J'ai supposé qu'elles étaient de même nature et de même fonction. Je me suis proposé de le démontrer : tel est l'objet de quelques-unes des expériences de la Note actuelle que j'ai l'honneur de communiquer à l'Académie, laquelle se rattache ainsi à celle que j'ai publiée le 8 janvier dernier. J'examine ensuite jusqu'à quel point il importe de tenir compte des microzymas atmosphériques.

» I. *Les microzymas atmosphériques sont des ferments du même ordre que ceux de la craie.* Le 11 avril 1865, mis en expérience :

A. Empois de fécule, 20 grammes, avec 420 centimètres cubes d'eau. Carbonate de chaux pur, venant d'être préparé et exposé pendant 48 heures à l'air, sans le garantir contre la poussière, 30 grammes. Créosote, 4 gouttes.

B. Dans le même lieu, au même moment, avec la même fécule et la même eau : Empois de 20 grammes de fécule avec 420 centimètres cubes d'eau ; craie de Meudon prise au centre d'un bloc, 30 grammes. Créosote, 4 gouttes. La craie avait été rapidement pulvérisée dans un mortier de métal, porté à une température élevée et refroidie dans une enceinte créosotée.

» Les deux appareils, munis de leurs tubes abducteurs, sont portés à l'étuve et chauffés à 35-40 degrés.

» Le 12 avril, les deux mélanges sont dans le même état.

» Le 13, A n'est pas moins visqueux que la veille; B l'est une fois moins.

» Le 14, A, comme le 13; B est tout à fait liquéfié. Le mélange est aussi liquide qu'une solution de fécule soluble mêlée de craie.

» Le 15, A commence à se liquéfier; B dégage du gaz. A partir de ce jour, on laisse aller les deux fermentations, et le 26 juin on analyse les produits :

A. *Opération avec carbonate de chaux.*		B. *Opération avec craie.*	
Alcool absolu	4^{cc}.	Alcool absolu	$3^{cc},6$.
Sels de soude fondus	8^{gr}.	Sels de soude fondus	$9^{gr},2$.
Lactate de chaux cristallisé	$0^{gr},5$.	Lactate de chaux cristallisé	$5^{gr},2$.

» Les sels de soude sont un mélange d'acétate et de butyrate.

» Les ferments sont, dans les deux cas, un mélange de microzymas et de bactéries. Les bactéries sont plus longues dans l'expérience avec le carbonate de chaux pur.

» II. *Les microzymas de la poussière des rues de Montpellier sont doués des mêmes propriétés que ceux de l'atmosphère et de la craie.* Le 5 novembre 1868, mis en expérience :

Empois de 20 grammes de fécule dans 300 centimètres cubes d'eau. Poussière calcaire d'un boulevard non pavé de Montpellier, 100 grammes. Créosote, 3 gouttes. Mis à l'étuve.

» Le 6 novembre, la fluidification était commencée; elle était complète le 7 et du gaz se dégageait. Le 28 décembre, examiné les produits :

Alcool : assez pour largement s'enflammer.
Acide butyrique pur : 6 grammes.
Acétate de soude cristallisé : 6 grammes.

» J'ai répété ces expériences : elles sont toutes concordantes. Ainsi, sauf des nuances, les poussières atmosphériques, celle des rues et la craie, dans les mêmes circonstances, ont le même mode d'action. Sans doute, il peut y avoir autre chose, dans l'atmosphère et dans la poussière des rues, que des microzymas, mais c'est accidentel. Ce qui est constant, ce sont les microzymas.

» Je pourrais multiplier les exemples de ces fermentations réduites à leur plus simple expression : en voici un qui indique qu'il peut exister plusieurs espèces de microzymas, même d'origine géologique.

» III. *Les microzymas du tuf calcaire de Castelnau (près de Montpellier) sont fonctionnellement différents de ceux de la craie et de l'atmosphère.* Le 6 janvier 1867, mis en expérience :

Empois de 50 grammes de fécule dans 1,000 centimètres cubes d'eau. Tuf de Castelnau rapidement pulvérisé, 270 grammes. Créosote, 10 gouttes.

» Le 23 janvier, il n'y avait encore aucune trace de fluidification; pourtant la fiole n'était couverte que d'un papier. Dans une autre expérience, faite dans les mêmes conditions, le mélange ne se fluidifia incomplétement qu'après un mois, et un mois plus tard le mélange analysé ne fournit que des traces d'acides volatils, et parmi les produits fixes seulement un peu de dextrine. Pourtant, la masse fourmillait de granulations moléculaires et de bâtonnets mobiles comme des bactéries.

» Il convient de faire remarquer que le tuf de Castelnau a été pris à une faible profondeur.

» Il faut donc compter avec les microzymas atmosphériques, et comme on ne peut pas, le plus souvent, se soustraire à leur présence, il est nécessaire de se demander à quel ordre de grandeur leur influence peut être réduite.

» IV. *L'influence des microzymas atmosphériques peut être réduite à zéro.* A propos des recherches sur la craie, je m'étais déjà assuré de ce fait. Plus tard j'ai répété ces expériences en les variant et en opérant dans diverses saisons.

» Le 5 janvier 1867, mis en expérience :

A. Sucre de canne, 145 grammes; eau, 1,000 centimètres cubes; carbonate de chaux pur, 50 grammes; créosote, 10 gouttes.

» Le carbonate de chaux avait été préparé au moment de s'en servir; il avait été lavé avec de l'eau légèrement créosotée. L'eau sucrée avait été filtrée sur un filtre et dans une fiole lavés à l'eau bouillante, légèrement créosotée. L'appareil n'avait été fermé qu'avec un tube à coton. Sauf les soins de propreté, on n'avait pris aucune autre précaution contre les poussières atmosphériques. Le mélange a subi toutes les variations de température du climat de Montpellier.

» Ouvert le 4 mai suivant : pas une trace de glucose. Refermé.

» Ouvert le 10 juillet : pas une trace de glucose. Ce jour, supprimé le tube à coton et fermé avec une simple feuille de papier, enveloppant le goulot.

» Examiné une dernière fois le 16 juillet 1869, c'est-à-dire après 30 mois : pas une trace de glucose; le pouvoir rotatoire du sucre de canne était resté constant.

B. Empois de 50 grammes de fécule avec 1,000 grammes d'eau; carbonate de chaux pur, 50 grammes; créosote, 10 gouttes. Le carbonate de chaux avait été préparé avec les mêmes soins que ci-dessus. Fermé avec un tube à coton.

» Comme pour A, l'appareil avait été ouvert plusieurs fois. Examiné le 5 août 1869, c'est-à-dire 31 mois après le début de l'expérience : pas trace de fluidification, l'empois était seulement contracté. On jette la masse délayée dans l'eau sur un filtre; la liqueur bleuit, en bleu pur, par l'iode : pas une trace de dextrine; traitée par l'acide oxalique, elle donne un précipité insignifiant; en la distillant, pas une trace d'alcool; seulement, une trace d'acide volatil, comme on en obtiendrait en distillant les eaux de lavage de la fécule elle-même.

» Au microscope, on voit quelques granulations moléculaires dans les deux mélanges : pas une bactérie, ni d'autres productions organisées. Mais qu'adviendrait-il si l'on ajoutait aux mélanges précédents une matière putrescible? Le voici :

» V. *L'influence des microzymas atmosphériques et d'une matière putrescible réunis peut être réduite à zéro.* Le 16 juillet 1870, mis en expérience :

A. Bouillon de levûre, 250 centimètres cubes; sucre de canne, 50 grammes; carbonate de chaux pur, 70 grammes; créosote, 3 gouttes.

B. Bouillon de levûre, 250 centimètres cubes; sucre de canne, 50 grammes; craie de Sens, extraite depuis un an de la carrière, 70 grammes; créosote, 5 gouttes.

» Le bouillon de levûre avait été fait avec 50 grammes de levûre et 500 grammes d'eau; traité par 3 à 4 volumes d'alcool, il louchit à peine, et, après trois jours, ne donne aucun précipité. Le carbonate de chaux avait été préparé avec les précautions déjà indiquées. Pendant qu'on pulvérisait la craie avec les soins déjà décrits, on agitait le carbonate de chaux à l'air avec une baguette de verre. B est muni d'un bouchon à tube adducteur; A n'est fermé que par un papier enveloppant le goulot du ballon. Les deux appareils sont abandonnés dans une pièce peu éclairée, à la température ordinaire.

» Le 1er septembre suivant, on constate qu'il n'y a de glucose dans aucun des deux appareils. Dans B, au microscope, fourmillement de microzymas mobiles; il y en a d'accouplés deux à deux et de petites bactéries mobiles. Dans A, quelques granulations moléculaires. La craie et le carbonate de chaux sont recueillis sur des filtres et complétement lavés. On les dissout l'un et l'autre par l'acide chlorhydrique étendu. A ne laisse pas de résidu appréciable. B laisse un résidu abondant : il est desséché à 160 degrés; il pèse 1gr,90; inciné, il s'est trouvé composé de

	gr.			gr.
Matière minérale....	1,47	En centièmes	matière minérale...	77,35
Matière organique...	0,43		matière organique..	22,65
	1,90			100,00

» Pendant l'incinération, odeur de corne brûlée.

» Le résidu insoluble de la craie employée contenait en centièmes :

	gr.
Matière minérale............................	92,7
» organique............................	7,3
	100,0

» N'est-il pas permis de conclure, non-seulement que les rares microzymas de l'atmosphère qui sont tombés dans les mélanges pendant les manipulations n'ont pas agi, mais que les microzymas de la craie ont pullulé et plus que triplé?

Cette expérience avait été faite avec du sucre de canne, précisément pour pouvoir comparer, dans les deux cas, la masse de matière organisée qui se formerait. En voici deux autres qui les contrôlent.

MINÉRALOGIE. — *Sur l'existence de la bauxite à la Guyane française.* Note de M. St. Meunier.

« En étudiant récemment une collection de roches données au Muséum, en 1839 et 1842, par M. Itier, je fus frappé de l'aspect caractéristique d'un

échantillon catalogué comme peroxyde de fer globulaire, sous le signe 8.A.163. Cet échantillon, qui provient de la Pointe-du-Diamant, au Mahury, dans la Guyane française, offre l'identité la plus complète avec la bauxite du midi de la France, et spécialement avec celle qu'on exploite à Cabasse, dans le Var.

» Divers essais chimiques ont pleinement confirmé la conclusion du premier examen superficiel, et j'ai reconnu que le minéral en question est réellement constitué par l'hydrate d'alumine, simplement coloré par l'oxyde de fer. Il n'était sans doute pas sans intérêt de signaler une nouvelle région où l'on pourra peut-être exploiter la bauxite quand les usages de l'aluminium, chaque jour plus nombreux, auront rendu plus active l'extraction de ses minerais. »

MÉTÉOROLOGIE. — *Sur l'aurore boréale du 4 février 1872.* Mémoire de **M. A. Laussedat**. (Extrait par l'auteur.)

(Commissaires : MM. Becquerel, Le Verrier, Vaillant.)

« Les observations de l'aurore boréale du 4 février faites en France et en Belgique, dans une zone de plus de 7 degrés en latitude, depuis Barcelonnette jusqu'à Louvain, ont permis de vérifier, avec plus d'exactitude qu'on avait pu le faire jusqu'à présent, ce fait intéressant : que *les rayons de l'aurore sont, en chaque station, parallèles à la direction de l'aiguille aimantée librement suspendue par son centre de gravité.*

» Arago ne doutait pas de l'exactitude de cette loi de physique terrestre qu'il énonce dans les termes suivants, au chapitre V de sa Notice sur les aurores boréales.

» Lorsqu'il jaillit des colonnes lumineuses des diverses régions de l'arc, leur point d'in-
» tersection, celui que certains météorologistes ont appelé le *centre de la coupole*, se trouve
» dans le méridien magnétique et précisément sur le prolongement de l'aiguille d'inclinai-
» son. »

» Malgré la forme très-affirmative sous laquelle cette loi est présentée, Arago n'en conseille pas moins « de répéter partout ce genre d'observations, moins, dit-il, pour établir
» entre les aurores boréales et le magnétisme terrestre une connexion générale, dont per-
» sonne ne peut douter aujourd'hui, qu'à raison des lumières qu'il doit répandre sur la
» nature intime du phénomène et sur les *méthodes géométriques* d'après lesquelles on a quel-
» quefois déterminé sa hauteur absolue.

» D'ailleurs quelle démonstration a-t-on donnée jusqu'à ce jour de cette loi et jusqu'à quel point les physiciens l'admettent-ils ?

» Wilke, qui s'est occupé de ce sujet, dit Kœmtz (1), *a cherché à prouver* que tous les
» rayons étaient parallèles à l'aiguille d'inclinaison. »

» Nous avons voulu, à notre tour, profiter de l'occasion, si rare à nos latitudes, qui s'est

(1) Koemtz, *Cours complet de météorologie*, traduit par Ch. Martins, 1858, p. 425.

présentée le 4 février, pour mettre hors de doute la loi formulée par Wilke et dont l'énoncé ne diffère pas géométriquement de celui d'Arago.

» Grâce à l'empressement des observateurs, nous avons pu relever, dans les Notes insérées aux *Comptes rendus* des 5 et 12 février, vingt-quatre observations assez nettement définies de la position occupée sur la sphère céleste par le point de convergence des rayons de l'aurore boréale. Ces positions sont généralement rapportées par les observateurs aux étoiles brillantes les plus voisines et les plus connues. Le peu de précision que comporte un semblable mode d'indication nous faisait prévoir que l'accord entre l'observation et le calcul fondé sur l'hypothèse du parallélisme des rayons de l'aurore boréale avec l'aiguille aimantée ne serait pas parfait.

» On peut voir toutefois, dans le Mémoire que nous avons l'honneur de soumettre à l'Académie, qu'en définitive les écarts ne sont pas très-considérables.

» Pour les déclinaisons, le maximum est de 5° 7' et l'erreur probable de chaque observation est égale à ± 2° 45'. Pour les ascensions droites, le maximum atteint, exceptionnellement, 7° 45', et l'erreur probable de chaque observation est de ± 3° 35'.

» Si l'on réfléchit à la manière dont les observations ont été faites, à l'incertitude des distances du point de convergence au repère choisi et à celle de l'indication de l'heure donnée par des montres ordinaires (cette dernière porte tout entière sur l'ascension droite, ce qui explique l'augmentation de l'erreur probable de cet élément), on se convaincra qu'il était impossible d'espérer une plus grande approximation (1). Nous donnons dans le Mémoire tous les calculs qui nous ont servi à la vérification de la loi énoncée, et nous espérons que l'examen de ces calculs et des tableaux qui les résument ne laisseront aucun doute sur la validité de cette loi, dont les conséquences sont très-remarquables. Nous nous bornerons à énoncer celles qui sont les plus immédiates et comme les corollaires d'un théorème de géométrie.

» I. Les rayons blancs et les rayons rouges de l'aurore boréale forment une coupole dont le centre se déplace avec l'observateur.

» II. Les rayons et les colonnes convergentes sont les éléments de *méridiens magnétiques* tracés en quelque sorte matériellement à travers l'atmosphère où ils forment des strates probablement situés à des hauteurs très-différentes.

» III. Le point de convergence étant purement fictif (c'est le point de fuite de la perspective sphérique), il ne saurait être question de chercher sa parallaxe, de déterminer sa hauteur; ce qui ne veut pas dire qu'on ne doive pas chercher à déterminer les parallaxes de rayons nettement définis qui seraient visibles simultanément de deux stations convenablement situées sur des directions sensiblement perpendiculaires aux méridiens magnétiques.

» IV. Le déplacement plus ou moins brusque du point de convergence, les mouvements ondulatoires des rayons, signalés par de nombreux observateurs (les mouvements ondula-

---

(1) Nous devons encore ajouter que les calculs ont été faits avec des valeurs de la déclinaison et de l'inclinaison qui ne sont pas rigoureusement exactes, et que nous avons dû admettre l'immobilité de l'aiguille. Si nous parvenions à nous procurer les données nécessaires pour tenir compte, à chaque instant, de la variation des deux éléments, nous avons des raisons de croire que les erreurs seraient sensiblement réduites.

toires sont bien connus), se trouvent expliqués ou du moins rattachés à la même cause que les changements de direction de l'aiguille aimantée, changements qui se trouvent en quelque sorte reflétés dans le ciel par les rayons de l'aurore boréale dont la tendance est toujours de s'orienter parallèlement à l'aiguille aimantée.

Tableau des observations du point de convergence des rayons de l'aurore boréale du 4 février 1872, d'après les Comptes rendus *des séances du 5 et du 12 janvier, dans leur ordre chronologique* (en tenant compte des différences de longitude des stations).

NUMÉROS d'ordre (1).	LIEUX d'observation.	HEURES locales.	POINTS de convergence		HEURES de Paris.	NOMS DES OBSERVATEURS.
			Æ	D		
1	Albert (Somme).	$6^h 0^m$	$3^h 36^m$	23° 0′ B	$5^h 59^m$	M. Comte.
2	Nancy...........	$6^h 18^m$	$3^h 42^m$	22° 0′	$6^h 3^m$	M. Guyot.
3	Louvain.........	$6^h 30^m$	$3^h 36^m$	23° 0′	$6^h 21^m$	M. Terby.
4	Metz............	$6^h 40^m$	$3^h 36^m$	23° 0′	$6^h 25^m$	M. Muller.
5	Châtillon-s-Seine.	$6^h 35^m$	$3^h 36^m$	23° 0′	$6^h 26^m$	M. des Étangs.
6	Paris...........	6^h à $6^h 30^m$	$3^h 36^m$	23° 0′	6^h à $6^h 30^m$	MM. Fron, Salicis, Chapelas.
7	Barcelonnette...	$6^h 30^m$	$3^h 42^m$	22° 0′	$6^h 13^m$ (2)	M. Giraud.
8	Grenoble........	$6^h 45^m$	$3^h 55^m$	20° 0′	$6^h 31^m$	M. de Villenoisy.
9	Saint-Étienne...	$6^h 45^m$	$3^h 56^m$	21° 0′	$6^h 37^m$	Le P. Jullien.
10	Louvain.........	$6^h 55^m$	$4^h 8^m$	32° 0′	$6^h 46^m$	M. Terby.
11	Montpellier.....	$6^h 55^m$	$3^h 58^m$	20° 0′	$6^h 49^m$	MM. Fabre et Collot.
12	Montpellier.....	$7^h 5^m$	$4^h 21^m$	17° 0′	$6^h 59^m$	MM. Fabre et Collot.
13	Louvain.........	$7^h 55^m$	$5^h 18^m$	28° 0′	$7^h 46^m$	M. Terby.
14	Montpellier.....	$8^h 0^m$	$5^h 40^m$	15° 0′	$7^h 54^m$	MM. Fabre et Collot.
15	Albert (Somme).	$7^h 30^m$ à 8^h	$5^h 18^m$	28° 0′	$7^h 29^m$ à $7^h 59^m$	M. Comte.
16	Grenoble........	$8^h 20^m$	$6^h 0^m$	15° 0′	$8^h 6^m$	M. de Villenoisy.
17	Saint-Étienne...	$8^h 25^m$	$6^h 0^m$	21° 0′	$8^h 17^m$	M. Vicaire.
18	Louvain.........	$8^h 40^m$	$6^h 15^m$	23° 0′	$8^h 31^m$	M. Terby.
19	Bordeaux........	$8^h 30^m$	$5^h 30^m$	22° 0′	$8^h 42^m$	M. Lespiault.
20	Albert (Somme).	$8^h 40^m$	$6^h 15^m$	23° 0′	$8^h 39^m$ (3)	M. Comte.
21	Paris...........	$9^h 8^m$	$6^h 54^m$	23° 0′	$9^h 8^m$	M. Tremeschini.
22	Paris...........	$9^h 50^m$	$7^h 35^m$	23° 0′	$9^h 50^m$	M. Tremeschini.
23	Paris...........	$10^h 26^m$	$8^h 9^m$	23° 0′	$10^h 26^m$	M. Tremeschini.
24	Paris...........	$10^h 35^m$	$8^h 10^m$	24° 0′	$10^h 35^m$	M. Laussedat.

(1) Les numéros de cette colonne correspondent à ceux de la carte céleste.

(2) Cette observation a été inscrite par erreur sous le n° 7; elle devrait occuper le n° 3. La carte étant gravée, on a dû laisser subsister cette irrégularité.

(3) Les observations n° 19 et n° 20 devraient être inversées.

Positions successives du point de convergence des rayons de l'aurore boréale du 4 février 1872.



Les numéros de 1 à 24 indiquent l'ordre chronologique dans lequel ont été faites les observations.

Les centres des petits cercles voisins des numéros marquent les positions du point de convergence.

Les traits qui partent du centre de chaque petit cercle indiquent l'amplitude et la direction de l'écart entre la position observée du point de convergence des rayons de l'aurore boréale et la position calculée du point de direction de l'aiguille aimantée.

MÉTÉOROLOGIE. — *Mémoire sur des faits dont on peut déduire : 1° une théorie des aurores boréales et australes, fondée sur l'existence de marées atmosphériques; 2° l'indication, à l'aide des aurores, de l'existence d'essaims d'astéroïdes à proximité du globe terrestre* (suite); *par* **M. J. Silbermann.** (Communiqué par M. Ch. Sainte-Claire Deville.)

Procédé pour mesurer la hauteur réelle au-dessus du sol des deux extrémités des faisceaux, dans le cas d'une aurore en couronne dont les faisceaux, au lieu de se toucher, présentent l'aspect d'une troncature de cône nettement accusée; cas présenté par l'aurore du 4 février.

« Vers 7 heures du soir environ, le 4 février, sept rayons, d'un rose vif, convergeaient sans se toucher; ils présentaient l'aspect de la moitié de la troncature d'un cône.

» En ce moment, si l'on avait mesuré l'angle sous-tendu par ce cercle, et si, d'autre part, on avait pu déterminer la hauteur au-dessus du sol des bandes de nubécules aurorigènes, lesquelles convergeaient aux deux extrémités opposées de l'horizon sud et nord présentant l'aspect de côtes de melon (ces bandes étaient donc parallèles; elles paraissaient équidistantes); si, à ce moment, on avait mesuré leur écartement au moyen d'observations zénithales faites au même moment, à deux stations, est et ouest, situées au-dessous des deux bandes les plus rapprochées, et si l'on avait, en même temps, déterminé la hauteur réelle des nubécules aurorifères, on aurait pu alors préciser la hauteur réelle du sommet des faisceaux dans les meilleures conditions, aussi bien qu'on peut mesurer la longueur d'un tunnel, quand on connaît exactement la distance à laquelle on se trouve de l'entrée, ainsi que le diamètre de cette ouverture et l'angle que sous-tend l'ouverture du tunnel à l'extrémité opposée.

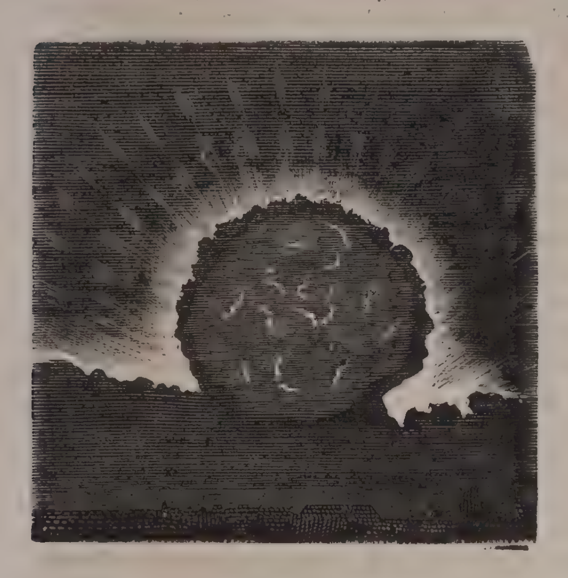
» Lorsque la couche du vent inférieur, au lieu d'être recouverte par une nappe de nubécules opaques, ne contient que de la vapeur électrisée plus ou moins transparente, la hauteur du segment obscur est la même, quelle que soit la distance horizontale à laquelle on l'observe, toute chose étant égale d'ailleurs. Sa hauteur apparente dépend, en ce cas, de l'angle limite de réflexion et de réfraction, de la surface de séparation des deux vents rectangulaires (l'inférieur relativement chaud et humide, et le supérieur froid et sec). En ce cas, on peut voir des étoiles à travers le segment obscur. (*Voir*, pour plus d'explications, la théorie des mirages formulée par Gaspard Monge et par MM. Mathieu et Biot.)

» Souvent, vers la fin de l'aurore, lorsque, d'une part, il ne reste plus guère de vapeur chargée d'électricités et, de l'autre, lorsque la surface de séparation entre les deux vents devient irrégulière, non-seulement la lumière de l'aurore s'affaiblit considérablement, mais, en même temps, la ligne de séparation de l'arc lumineux et du segment obscur devient de plus en plus vague, l'arc descend graduellement au-dessous de l'horizon. On a probablement alors sous les yeux la queue de l'onde de marée.

» Assez généralement, le segment obscur éprouve aussi des oscillations horizontales; elles sont lentes et s'exécutent entre l'ouest et l'est. Le plus souvent, l'éclat de la lumière de l'aurore va en diminuant, pendant l'excursion d'ouest à est, et va en augmentant pendant l'excursion d'est à ouest, quand le vent supérieur est de nord-est; mais l'inverse a lieu quand le vent supérieur est de nord-ouest.

» Un autre fait vient confirmer l'identification de l'aurore avec l'onde de marée : c'est que l'aurore du 4 février n'a commencé à paraître, en Amérique, que six heures après avoir paru en France. C'est à peu près ce qui devait avoir lieu selon mon hypothèse. (*Voir* la Communication de M. Tarry à la séance précédente.) Il semble résulter de l'ensemble des faits exposés dans ce Mémoire que le magnétisme terrestre, loin de remplir le rôle actif de cause, n'est qu'un simple effet.

» Lorsqu'une nuée orageuse se rencontre avec une onde faible de marée, celle-ci donne simplement lieu à une aurore auréolaire autour de la nuée, ainsi que cela a eu lieu lors de l'essaim du 6 septembre 1865, à 9 heures du soir, au nord-nord-est de Paris (*voir* la figure ci-contre); mais lorsque l'onde est forte, on voit les nuées orageuses se dissiper et se transformer en autant de foyers de lumière aurorale. Je crois avoir dit un mot de ce fait dans l'une de mes précédentes Communications à l'Académie.



» En raison des propositions énoncées dans mon précédent Mémoire, on voit que chaque astre du système solaire et chaque groupe d'astéroïdes agissent sur l'atmosphère terrestre : 1° en raison directe de leur masse; 2° en raison inverse du carré de leurs distances à la terre; 3° en raison de leur position angulaire par rapport à une longitude donnée; 4° est rendu sensible par des phénomènes auroraux en raison du degré d'élévation de la latitude; 5° le degré de coloration dépend du degré de développement de la vie animale et végétale. On sait que la mer Boréale, surtout dans le voisinage de l'archipel arctique, où débouche le gulfstreem, est très-peuplée d'êtres aquatiques; la surface des eaux est tellement chargée de détritus, disent les navigateurs, que la surface de la mer y paraît souvent graisseuse. La mer Australe, au contraire, contraste par ses plages presque désertes; c'est ce qui nous semble expliquer la pâleur des aurores australes.

» Il est presque inutile de dire que, du moment que la cause des aurores est cosmique, et tous les faits le prouvent, il n'est pas étonnant que les aurores aient lieu simultanément dans les deux hémisphères.

» Chaque essaim, lors de son passage à proximité de notre globe, doit donc donner lieu à la formation d'une onde de marée, d'où résultent, durant la nuit, des aurores lumineuses, et, pendant le jour, des aurores nuageuses.

» Il ressort des raisonnements de de Mairan (p. 534, édition de 1754, *voir* son *Traité sur l'aurore*) qu'il admettait l'existence d'aurores pendant le jour.

» Arago et M. Laugier, le dimanche 24 juin 1844, à 8h30m du soir, ont observé une aurore de jour (voir les *Comptes rendus*, t. XVIII, p. 1168). Cette aurore est apparue dans

le sud, et son segment obscur bordé de son arc lumineux, au lieu de descendre à l'horizon sud, s'est, au contraire, élevé graduellement, jusqu'à disparaître par son passage au zénith. Cette ascension s'est dirigée selon un plan à 20 degrés est-est du méridien. Ce fait est très-intéressant, car il accuse une symétrie au sud avec le cas précité des aurores qui résultent de deux vents rectangulaires NO et NE, cas où l'aurore cesse de même d'être visible par l'ascension du segment obscur jusqu'à dépasser le zénith. En bas régnait un vent SSE, et sans doute au-dessus un vent d'ONO. Cette aurore a été accompagnée d'une baisse barométrique.

» M. Laugier a le premier reconnu, par des mesures précises, que les taches du Soleil se déplacent en s'éloignant et se rapprochent alternativement de l'équateur du Soleil.

« J'ai dû, dit-il, en conclure qu'il y avait simultanéité dans les mouvements. La direction » de ces mouvements n'est pas déterminée; mais si on les fait porter entièrement sur les » latitudes des deux taches observées en même temps, on voit que ces latitudes augmentent » et diminuent ensemble, comme si une même force rapprochait les taches et les éloignait » alternativement du pôle de rotation. »

» Ce qui précède exclut, ce nous semble, non-seulement toute idée relative à une nature volcanique, mais établit d'une façon inébranlable la théorie d'Arago sur l'atmosphère du Soleil. Tous les phénomènes de la physique prouvent, en effet, qu'il n'est pas toujours nécessaire qu'un corps soit chaud, électrique ou lumineux, pour déterminer la production de phénomènes de chaleur, d'électricité ou de lumière sur les corps qui l'environnent. Je n'en finirais pas s'il fallait citer toutes les expériences péremptoires à cet égard, et l'on commence heureusement à étudier depuis quelques années les phénomènes au point de vue des métamorphoses de la force qui anime l'univers : qu'il me suffise de rappeler les belles expériences de MM. Hirn, Léon Foucault, de mon frère Jean-Thibault Silbermann avec M. Petrus Favre, les nombreuses expériences de M. Henri Sainte-Claire Deville et de tant d'autres physiciens et chimistes distingués. La physique et la chimie ont précisément pour but l'étude de ce protéisme incessant universel de la force qui a déjà changé de manière d'être et d'agir lorsqu'un phénomène a révélé sa présence, c'est-à-dire que sa nature apparente a changé par sa façon d'être, d'agir et de se propager dans le temps et dans l'espace à travers les corps. Si donc il y a eu recrudescence quant au nombre et à la grandeur des facules et des taches du Soleil depuis trois ans, accompagnés de l'apparition d'immenses protubérances et de gerbes brillantes sur les bords du disque, comme cela résulte des observations du P. Secchi, de MM. Tacchini, Lockyer et de tant d'autres habiles observateurs, loin d'en voir la cause dans la coïncidence de ces faits avec les apparitions d'aurores, il est bien plus naturel d'y voir une analogie de faits subjectifs à des causes communes extérieures, c'est-à-dire cosmiques.

» Cela prouverait donc plutôt que l'atmosphère du Soleil est soumise aux mêmes causes agissantes et y est au moins tout aussi sensible que celle de la Terre. Les formidables protubérances qu'on remarque en ce moment sur les bords du disque solaire semblent n'être autre chose que des ondes de marée de l'atmosphère solaire, et les facules les rayons de l'aurore perpétuelle et bienfaitrice due au passage périhélie des essaims d'astéroïdes le long de leur orbite elliptique très-allongée, c'est-à-dire identique à celle des comètes comme M. Schiaparelli l'a démontré il y a plusieurs années. J'ai examiné minutieusement, et à plusieurs reprises : 1° à l'aide de l'hélioscope de M. Porro, 2° avec les grandes lunettes de l'Observatoire, la physionomie très-caractéristique du bord des taches solaires ainsi que celle des

facules. Certaines taches m'ont produit l'effet, les unes de révéler l'existence de cyclones, et les autres d'être de simples trouées, comme les nuées orageuses en montrent souvent. Ces phénomènes, aujourd'hui si bien étudiés par MM. Chacornac, Nasmyth, Carrington, Huggins Warren de la Rue, Stewart et Lœwy, Capocci, Lockyer, le P. Secchi et surtout les beaux dessins de M. Tacchini, à Palerme, nous montrent des nuages presque identiques en tous points à ceux de notre atmosphère, que j'étudie avec soin depuis plus de trente ans.

» Un fait d'une haute importance a été observé, fin décembre 1871, par M. C. Flammarion. En observant Jupiter avec son télescope, il a constaté avec surprise qu'un satellite qui passait devant le disque, au lieu de se détacher en clair sur le fond grisâtre de l'atmosphère de cet astre, paraissait noir par son contraste avec une lumière d'un éclat extraordinaire et d'une teinte rosée, laquelle semblait être le produit de l'atmosphère de cette planète, ce qui porte naturellement à admettre que M. Flammarion a été témoin d'une aurore dans l'atmosphère de Jupiter. Peu de jours après éclataient sur terre les aurores des premiers jours de janvier 1872; puis après on constatait le surgissement extraordinaire de protubérances et de gerbes énormes sur l'atmosphère solaire, se profilant sur les bords du disque.

» Or le point radiant des étoiles filantes vues pendant les aurores des 4 et 22 février correspondait à la position de Jupiter sur la voûte céleste. Outre que ces éclats successifs offriront peut-être aux astronomes le moyen de mesurer la vitesse de ces petits globes dans les espaces célestes, ces faits révèlent les fonctions que ces différents astres remplissent dans l'économie générale des mondes, puisque, en passant près de notre atmosphère, ils la soulèvent en produisant un effet analogue à celui d'une ventouse, mélangent les couches d'air, aspirent les vapeurs méphitiques du sol et purifient l'air par leur décomposition au moyen de l'électricité de l'aurore, et entretiennent ainsi la viabilité à la surface de notre globe comme à celle des autres planètes et du Soleil lui-même.

» Les agitations de l'aiguille aimantée en plein jour, ainsi que le trouble des lignes télégraphiques aux mêmes heures, confirment d'autre part l'existence des aurores de jour. C'est ce qui a eu lieu le 4 février, dès 3 heures de l'après-midi, et dès cette heure j'ai vu l'aurore pendant le jour avec ses bandes de nubécules colorées en jaune par la vapeur rutilante qui les environnait, ce qui présageait, comme je l'ai dit plus haut, une aurore richement colorée en cas de persistance du phénomène après le coucher du Soleil.

» Les 22 et 23 février il y a eu aurores de jour identiques en tous points à celles du 4; mais, ces deux jours, la Lune, par sa position, a dû contrecarrer en partie la production du phénomène et de l'autre l'éclipser par sa clarté. Malgré cela, il m'a été possible cependant de distinguer des faisceaux rosâtres formant la Couronne entre 8h 45m et 9h 45m.

» Ainsi que je l'ai dit plus haut, durant l'aurore du 4 février, j'ai observé cinq étoiles filantes dont le point radiant devait être peu éloigné de la partie du ciel où se trouvait Jupiter.

» Le 22 février, j'ai de même observé, entre 8 et 10 heures du soir, dix étoiles filantes partant de la même région du ciel : d'où il semble résulter que les aurores du 4 et du 22 février ont été provoquées par des parties différentes d'un même essaim, passant successivement à proximité de Jupiter, de la Terre et du Soleil.

» On comprend, d'après cela, combien il est important pour les astronomes d'observer

minutieusement non-seulement les aurores de nuit, mais celles de jour. J'ai observé jusqu'à présent plus de cent aurores, dont une soixantaine seulement pendant la nuit. »

M. **Larrey** présente à l'Académie, de la part de M. le professeur *Coze*, de Strasbourg, un Mémoire intitulé : *De l'emploi des greffes épidermiques, pratiquées avec des lambeaux de peau de lapin, pour la guérison des plaies rebelles.*

« L'auteur, dit M. Larrey, rappelle d'abord le travail lu à l'Académie des Sciences, en novembre 1871, par M. le docteur L. Reverdin, sur les greffes animales étudiées expérimentalenent au Collége de France.

» M. Coze rapporte ensuite trois observations de sa pratique à l'hôpital militaire de Perpignan, à l'appui des expériences de M. Reverdin.

» La première de ces observations est relative à une plaie ancienne et fistuleuse de la cuisse, par un éclat de bois ; la deuxième à une plaie ulcérée du genou, compliquant une fracture de la rotule, par coup de pied de cheval ; et la troisième à une plaie par éclat d'obus, de l'extrémité inférieure de la jambe.

» Ces trois observations, recueillies avec soin, dans tous leurs détails, sont suivies de remarques pratiques sur les opérations d'anaplastie, et de conclusions précises en faveur de la transplantation d'un lambeau cutané du lapin, sur une plaie ulcérée ou difficile à guérir chez l'homme.

» Le Mémoire de M. Coze mérite d'être transmis à la Commission des prix de médecine et de chirurgie.

(Renvoi à cette Commission.)

M. le vice-amiral **Jurien de la Gravière**, en présentant à l'Académie, de la part de M. *Larousse*, Ingénieur hydrographe, une « Étude sur les embouchures du Nil et sur les changements qui se sont produits à ces embouchures pendant les derniers siècles », ajoute les observations suivantes :

« Le Mémoire de M. Larousse relatif aux embouchures du Nil a pour objet de préciser les changements qui s'y sont produits, en remontant aussi loin que le permettent les documents authentiques que l'on possède sur cette partie de la côte et en comparant les plans conservés dans les Archives du dépôt de la marine aux reconnaissances récemment opérées sur la demande du gouvernement égyptien et de la Compagnie du canal de Suez.

» En ce qui concerne la bouche de Damiette, M. Larousse a pu constater que, pendant les deux cents dernières années, après des alternatives d'atterrissement et d'érosion, la pointe principale de l'embouchure s'était avancée

en moyenne de 3 mètres environ par an. A l'embouchure de Rosette, l'avancement, pendant la même période, paraît avoir été beaucoup plus considérable. De 1687 à 1800, il aurait été en moyenne de 10 mètres par an et se serait élevé à plus de 35 mètres dans les soixante années qui ont suivi. Cette progression rapide est attribuée par M. Larousse à la position de l'embouchure sur la côte et au remous du courant littoral formé par la pointe d'Aboukir.

» Parmi les modifications que subit actuellement la côte, il faut encore citer les érosions des parties saillantes du littoral, telles que le cap Burlos et le Lido, à l'est de Port-Saïd, tandis que le fond des baies de Péluse et de Dibeh s'est un peu ensablé. Sur cette côte, l'action incessante de la vague prédominante de l'ouest tend à faire disparaître les inégalités du rivage plus encore qu'à combler les golfes.

» M. Larousse termine son Mémoire par une étude sur Port-Saïd, qui est l'embouchure du canal de Suez dans la Méditerranée. La difficulté de créer et surtout de maintenir un port d'une profondeur suffisante sur une plage formée d'alluvions et qui se prolonge sous l'eau par une pente presque insensible, a été l'un des principaux arguments que l'on a longtemps opposés à la jonction des deux mers. « Supposez, disait-on, qu'un canal ait
» été creusé entre Cette et Bayonne, le passage des grands bâtiments d'une
» mer à l'autre, de la Méditerranée à l'Océan, serait-il pour cela résolu?
» La barre de l'Adour ne continuerait-elle pas d'arrêter les navires que leur
» tirant d'eau empêcherait de la franchir? » L'objection était capitale. Heureusement, le golfe de Péluse ne présente pas des conditions aussi difficiles que le golfe de Gascogne. La direction des vents et de la lame n'est point à Port-Saïd, comme elle l'est devant Bayonne, presque toujours normale à la direction de la côte. Les vagues sont également bien loin d'y avoir la même puissance, et l'on ne rencontre point à l'embouchure du canal cette lutte de deux efforts contraires qui accumule les sables de l'Océan à l'entrée de l'Adour.

» Il paraît aujourd'hui certain que l'issue du canal de Suez dans la Méditerranée pourra être maintenue à la profondeur nécessaire, sans que les frais d'entretien dépassent les proportions que de pareilles dépenses doivent toujours garder avec le prix des travaux de premier établissement. M. Larousse estime qu'il est indispensable de prolonger chaque année les jetées d'une quantité égale à l'avancement graduel de la plage. Cet avancement, qui avait été primitivement de 60 mètres par an, n'est plus que de 35 mètres, depuis que le musoir a atteint des fonds plus considérables. Un pro-

longement annuel de 35 mètres ne constituerait qu'une dépense à peine égale aux frais de curage du port.

» Il est d'ailleurs à désirer que des relevés hydrographiques, poussés jusqu'à deux milles et plus de l'embouchure du canal, viennent constater périodiquement les variations de la plage sous-marine qui s'abaisse sur certains points, en même temps qu'elle s'exhausse sur d'autres; car, chose importante à noter, s'il y a toujours eu ensablement près du rivage, il y a eu aussi, pendant quelque temps après la construction des jetées, affouillement et approfondissement au large. L'entrée d'un passage qui donne accès aux marchés les plus fréquentés du globe ne saurait être trop surveillée, et l'Académie apprendra sans doute avec satisfaction que M. le Ministre de la Marine a donné au commandant de la frégate française qui stationne à Port-Saïd l'ordre de procéder à une exploration minutieuse des abords du canal, exploration dont les résultats seront soigneusement contrôlés par le Comité hydrographique du Dépôt des cartes et plans. »

M. P. **Guyot** adresse, de Nancy, une Note relative aux modifications qu'apporte la gelée dans les propriétés explosibles de la dynamite.

M. A. **Brachet** demande l'ouverture d'un pli cacheté, déposé par M. Gary et par lui, le 15 janvier 1872, et contenant l'indication d'une disposition nouvelle à donner aux régulateurs de la lumière électrique.

Ce pli est ouvert en séance par M. le Secrétaire perpétuel : les auteurs proposent « d'augmenter économiquement la puissance du régulateur électrique en rendant possible, par la suspension du courant, la multiplicité des arcs dans un même régulateur. »

M. **Lemaire** adresse une Lettre relative à ses précédentes Communications sur un chronographe.

Cette Lettre sera transmise à la Section de Physique.

M. **Petilleau** adresse une Lettre relative à son précédent Mémoire sur une presse moteur.

Cette lettre sera transmise à M. Phillips.

M. L. **Dodge** adresse, de Chicago, une Lettre destinée à obtenir de l'Académie quelques renseignements sur certains ciments employés à Paris

pour diverses constructions, et en particulier pour celle de l'aqueduc de la Vanne. Il pense que ces documents pourraient recevoir leur application dans la reconstruction de la ville de Chicago, détruite par l'incendie du 9 octobre 1871.

Cette Lettre sera transmise à MM. Ch. Sainte-Claire Deville et Belgrand.

A 6 heures, l'Académie se forme en Comité secret.

La séance est levée à 6 heures et demie. É. D. B.

BULLETIN BIBLIOGRAPHIQUE.

L'Académie a reçu, dans la séance du 26 février 1872, les ouvrages dont les titres suivent :

Mémoires de la Société des sciences physiques et naturelles de Bordeaux; t. VIII, 2e cahier. Paris, 1872; in-8°.

Appareil électrique prévenant les accidents de chemin de fer, de MM. A. VEILLET et C. VERNY. Lille, 1871; opuscule in-8°.

Projet d'organisation d'un Institut agronomique; par M. J. CARVALLO. Paris, 1871; opuscule gr. in-8°. (Extrait des publications récentes de l'*Académie nationale, agricole, manufacturière et commerciale.*)

Les incendies modernes, etc.; par M. J. CHAUTARD. Nancy et Paris, 1872; br. in-12.

Les microzymas. Ce qu'il faut en penser; par le Dr L. CAIZERGUES. Paris, 1872; in-8°, avec planches.

Étude sur les embouchures du Nil et sur les changements qui s'y sont produits dans les derniers siècles, d'après une reconnaissance hydrographique exécutée en 1860; *par* M. LAROUSSE. Paris, 1872; in-8°, avec plans. (Présenté par M. l'Amiral Jurien de la Gravière.)

Bibliothèque de l'École des Hautes-Études. Bulletin des Sciences mathématiques et astronomiques, rédigé par MM. G. DARBOUX *et* J. HOUËL; décembre 1870 à août 1871. Paris, 1870-1871; 9 liv. in-8°.

A new system of measures, weights, and money; entitled the Linn-Base decimal system, etc.; by W. WILBERFORCE MANN. New-York, 1871; br. in-12.

The american Journal of Science and Arts, n° 14, vol. III; february 1872. New-Haven, 1872; in-8°.

The Journal of the Franklin Institute; vol. LXIII; january 1872, n° 1. Philadelphia, 1872; br. in-8°.

Astronomical and meteorological observations made at the Radcliffe Observatory; vol. XIV à XXVII. Oxford, 1855 à 1870; 14 vol. in-8°, reliés.

Transactions of the Royal Society of Arts and Sciences of Mauritius; new series, vol. V. Mauritius, 1871; in-8°.

Apuntes para la geografia y fauna entomologicas de Mataro; por J.-M. SALVANA COMAS. Madrid, 1870; in-8°.

Atti dell' Accademia pontificia de' Nuovi Lincei, anno XXV, sessione II del 21 gennaio 1872. Roma, 1872; in-4°.

Atti del reale Istituto veneto di Scienze, Lettere ed Arti; tome I; disp. prima-seconda. Venezia, 1871-1872; 2 br. in-8°.

Archives néerlandaises des sciences exactes et naturelles publiées par la Société hollandaise des Sciences à Harlem, et rédigées par M. E.-H. VON BAUMHAUER; t. VI, 4e et 5e liv. La Haye, 1871; 2 br. in-8°.

Verhandelingen rakende de natuurlijke en geopenbaarde godsdienst uitgegeven door Teylers Godgeleerd genootschap; nieuwe series, tweede deel. Haarlem, 1871; in-8°.

Die Künstlich dargestellten mineralien nach G. Rose's kristallo-chemischen mineralsysteme geordnet von Dr C.-W.-C. FUCHS. Haarlem, 1872; in-4°.

Nederlandsch meteorologisch jaarboek voor 1871. *Drie en twintigste jaargang eerste deel. Waarnemingen in Nederland.* Utrecht, 1871; in-4° oblong.

ERRATA.

(Séance du 12 février 1872.)

Page 427, première ligne des formules (1), *au lieu de* $\frac{du}{dz}$, *lisez* $\frac{dw}{dz}$.

Même page, troisième ligne des formules, *au lieu de* ou, *lisez* où.

Page 434, deuxième et troisième formule, *au lieu de* —, *lisez* +. Le signe — qui affecte la quatrième formule doit disparaître, et à la cinquième, *au lieu de* R^s, *lisez* R^s_r.

Page 436, ligne 2, *au lieu de* (1), *lisez* (*), et ligne 28, *au lieu de* (*), *lisez* (1).

Même page, ligne 29, *au lieu de* trois pressions normales, *lisez* trajectoires des molécules.